

### BAB III

#### LANDASAN TEORI

##### A. Perencanaan Struktur Portal dengan SRPMK

Desain beban gempa yang diberikan pada struktur gedung dengan portal SRPMK relatif kecil, sehingga diharapkan memperoleh dimensi balok dan kolom yang kecil. Namun demikian, portal SRPMK mampu berperilaku sebagai daktail penuh dan dapat menjamin bahwa kolom lebih kuat daripada balok (*strong column weak beam*). Kondisi daktail penuh mampu tercapai karena diberikan faktor reduksi kekuatan pada kolom lebih kecil daripada balok, juga memperhitungkan bahwa jumlah momen kolom yang merangkap joint tidak boleh kurang dari 1,2 kali jumlah momen pada balok.

##### B. Perencanaan Atap Rangka Baja

###### 1. Perencanaan gording

Gording adalah bagian konstruksi atap yang berfungsi sebagai penumpu penutup atap serta mengikat antar rangka kuda-kuda. Beban yang dipakai dalam perencanaan gording adalah beban mati (akibat beban sendiri gording dan beban penutup atap), beban hidup dan beban angin. Profil yang digunakan adalah *lip channel*.

a). Pembebanan gording

Beban mati (D)

$$\text{Berat sendiri gording, } q_{bs} = 110\% \cdot w_{gord} \text{ (kg/m)} \quad (\text{III.1a})$$

$$\text{Berat penutup atap, } q_{atap} = \frac{w_{atp} \cdot d_{gord}}{\cos \alpha} \text{ (kg/m)} \quad (\text{III.1b})$$

Beban hidup (L)

$$\text{Beban air hujan, } q_{hjn} = (40 - 0,8 \cdot \alpha) \cdot d_{gord} \text{ (kg/m)} \quad (\text{III.1c})$$

Beban hidup terpusat,

$$P_y = P \cdot \cos \alpha \text{ (kg)} \quad (\text{III.1d})$$

$$P_x = P \cdot \sin \alpha \text{ (kg)} \quad (\text{III.1e})$$

### Beban angin(W)

Beban angin memiliki arah tegak lurus terhadap bidang miring atap. Untuk  $\alpha < 65^\circ$ , koefisien angin tekan  $C_1 = 0,02 \cdot \alpha - 0,4$

$$\text{Beban angin dihitung dengan, } q_{\text{angin}} = \frac{C_1 \cdot W_{\text{ang}} \cdot d_{\text{gord}}}{\cos \alpha} \quad (\text{III.1f})$$

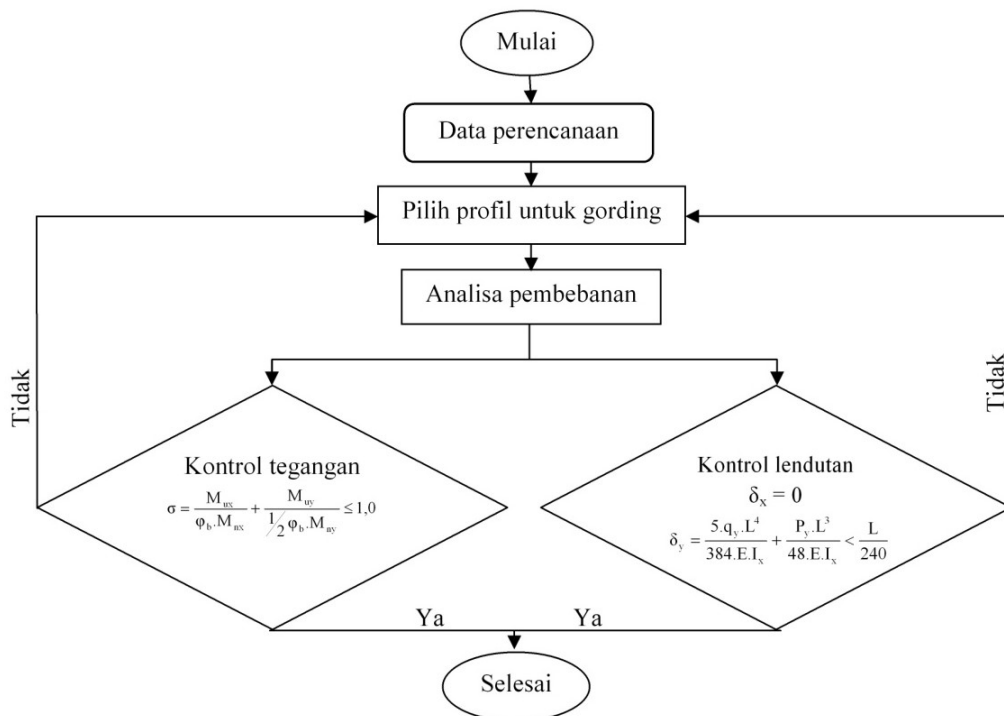
a). Kontrol tegangan

$$\sigma = \frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{0,5 \cdot \phi_b M_{ny}} \leq 1,0 \quad (\text{III.1g})$$

b). Kontrol lendutan

$$\delta_y = \frac{5 \cdot q_y \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I_x} + \frac{P_y \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I_x} \leq \frac{L}{240} \quad (\text{III.1h})$$

Proses perencanaan gording dapat dilihat pada bagan alir (*flowchart*) seperti pada Gambar III.1 di bawah.



Gambar III.1. Skema perencanaan gording

## 2. Perencanaan kuda-kuda

Kuda-kuda atap berupa rangka truss tanpa ada tahanan momen di semua joint antar batang/*frame*. Batang-batang tersebut hanya menahan gaya aksial tarik (tension) atau tekan (compression). Profil yang dipakai pada batang harus kuat dalam menahan beban-beban kombinasi yang terjadi.

**3a). Kombinasi pembebanan.** Kombinasi pembebanan yang dipakai dalam perencanaan kuda-kuda adalah sebagai berikut :

$$1). 1,4 D \quad (III.2a)$$

$$2). 1,2D + 0,5L \quad (III.2b)$$

$$3). 1,2 D + 1,6 L + 0,8W \quad (III.2c)$$

$$1,2 D + 1,6 L - 0,8W \quad (III.2d)$$

$$4). 1,2 D + 1,3W + 0,5L \quad (III.2e)$$

$$5). 0,9D + 1,3W \quad (III.2f)$$

$$0,9D - 1,3W \quad (III.2g)$$

dengan:

D = beban mati, kN.

L = beban hidup, kN.

W = beban angin, kN.

**3b). Perencanaan batang tekan.** Batang tekan harus dihitung sedemikian rupa sehingga terjamin stabilitasnya. Batang tekan dapat dihitung dengan rumus :

$$\omega \frac{N}{A} \leq \bar{\sigma} \quad (III.2h)$$

Harga  $\omega$  dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$\lambda_x = \frac{k.L_{a1}}{r_x} \quad (III.2i)$$

$$\lambda_s = \sqrt{\lambda_y^2 + \frac{m}{2} \lambda_1^2} \quad (III.2j)$$

$$\lambda_c = \frac{\lambda_{\min}}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} \quad (III.2k)$$

Untuk :

$$\lambda_c \leq 0,25 \quad \longrightarrow \quad \text{maka } \omega = 1 \quad (III.2l)$$

$$0,25 < \lambda_c < 1,2 \quad \longrightarrow \quad \text{maka } \omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \lambda_c} \quad (\text{III.2m})$$

$$\lambda_c > 1,2 \quad \longrightarrow \quad \text{maka } \omega = 1,25 \lambda_c^2 \quad (\text{III.2n})$$

**3c). Batang tarik.** Batang tarik adalah batang yang menerima beban tarik. Tegangan rata-rata pada batang tarik didapat dari gaya tarik yang bekerja dibagi dengan luas penampang bersih. Tegangan tersebut tidak boleh lebih besar dari 0,75 kali tegangan dasar untuk penampang berlubang. Batang tarik dapat dihitung dengan rumus:

$$\Phi T_n > \bar{\sigma} \quad (\text{III.2o})$$

Nilai  $\Phi T_n$  diambil dari nilai terkecil antara  $\Phi T_{n1}$  dan  $\Phi T_{n2}$ :

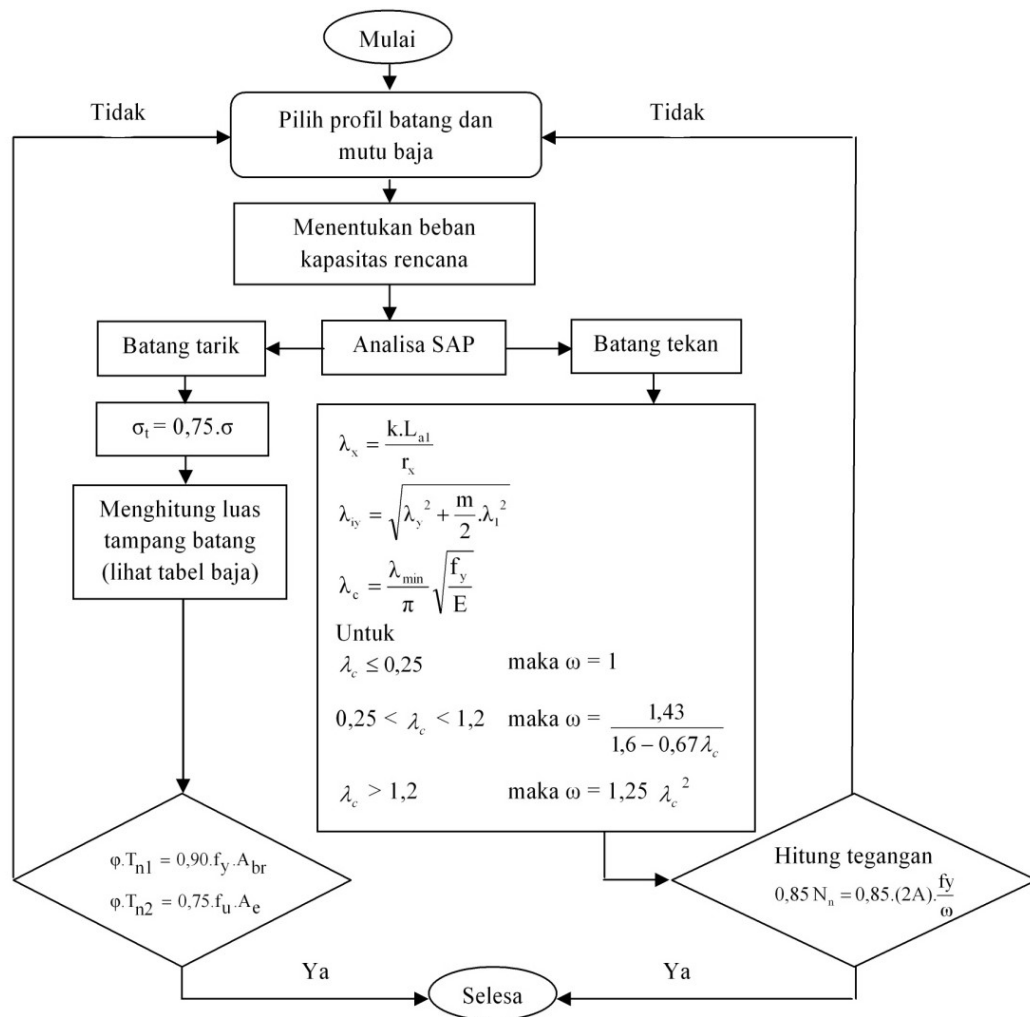
$$\begin{aligned} \text{Kondisi leleh: } \Phi T_{n1} &= 0,90 \cdot f_y \cdot A_{br} \\ &= 0,90 \cdot f_y \cdot (2A) \end{aligned} \quad (\text{III.2p})$$

dengan:  $A_{br}$  = luas tampang bruto profil.

$$\begin{aligned} \text{Kondisi fraktur: } \Phi T_{n2} &= 0,75 \cdot f_u \cdot A_e \\ &= 0,75 \cdot f_u \cdot (0,75 \cdot 2A) \end{aligned} \quad (\text{III.2q})$$

dengan:  $A_e$  = luas tampang efektif.

Proses perencanaa kuda-kuda ini dapat dilukiskan dalam bentuk bagan alir (*flowchart*) seperti pada Gambar III.2.



Gambar III.2. Skema perencanaan kuda-kuda baja

### 3. Perencanaan sambungan

Perencanaan sambungan dimaksudkan untuk menyatukan komponen-komponen penyusun struktur kuda-kuda baja sesuai dengan standar perencanaan struktur kuda-kuda baja yang telah ditetapkan. Ada dua macam sambungan yang dapat dilakukan, yaitu sambungan dengan baut dan sambungan dengan las.

Dalam perencanaan kuda-kuda baja ini menggunakan sambungan las tumpang 2. Las yang dimaksud adalah las yang menggunakan arus listrik. Tegangan yang terjadi pada las harus sesuai syarat-syarat di bawah.

Syarat tebal las dibawah ini:

$$a_{\min} \leq a \leq a_{\max} \quad (\text{III.3a})$$

$$R_{el} = \phi \cdot t_e \cdot (0,6 \cdot f_{uw}) \quad (\text{III.3b})$$

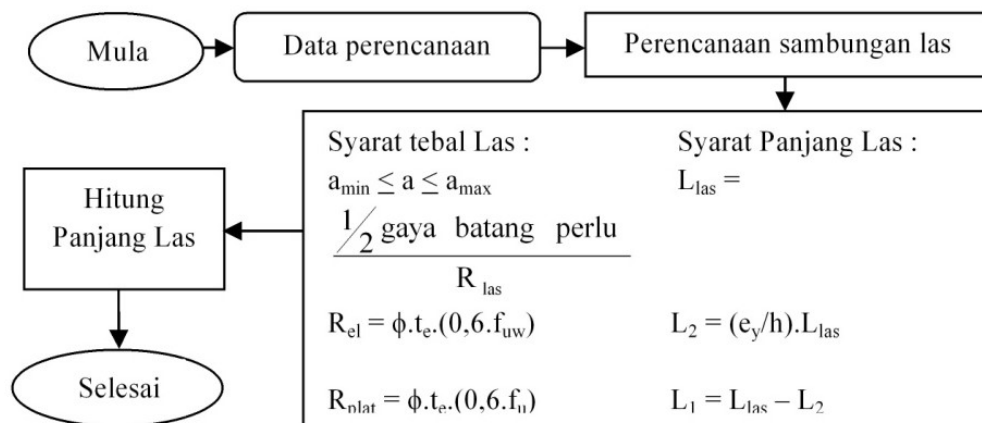
$$R_{plat} = \phi \cdot t_e \cdot (0,6 \cdot f_u) \quad (\text{III.3c})$$

Syarat panjang las:

$$L_{las} = \frac{1/2 \text{ gaya batang perlu}}{R_{las}} \quad (\text{III.3d})$$

$$L_2 = (e_y/h) \cdot L_{las} \quad (\text{III.3e})$$

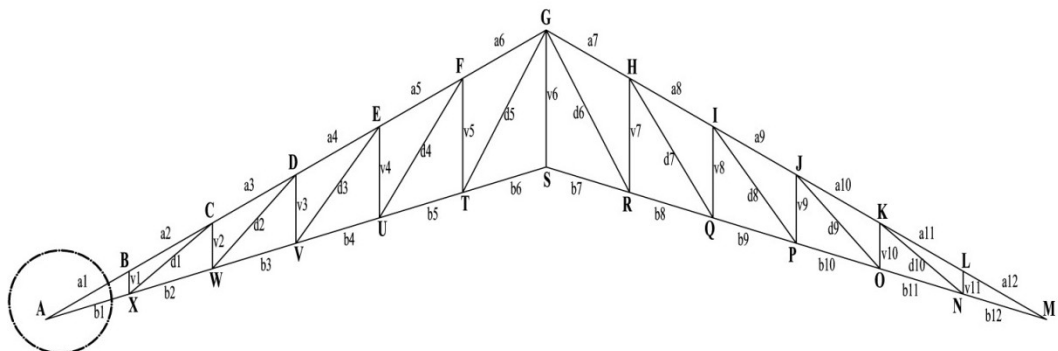
$$L_1 = L_{las} - L_2 \quad (\text{III.3f})$$



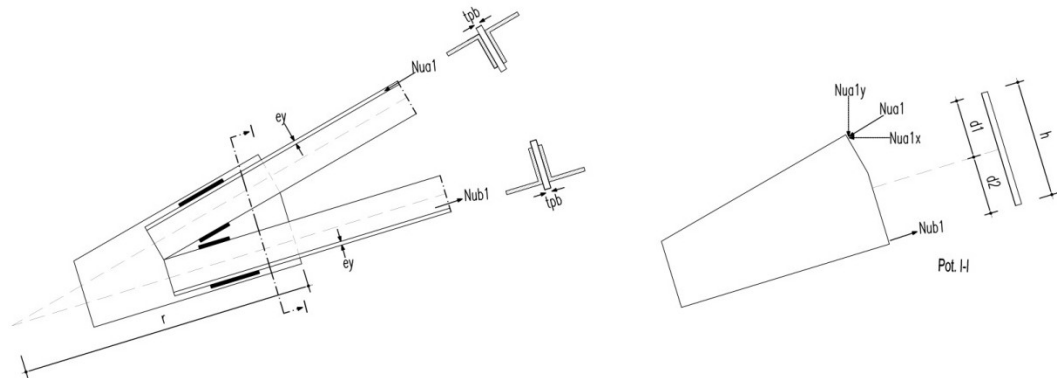
Gambar III.3. Skema perencanaan sambungan las

#### 4. Perencanaan plat buhul

Perencanaan plat buhul mencakup seluruh simpul dari kuda-kuda. Dalam uraian ini tidak dibahas semua tetapi hanya akan diberikan beberapa contoh perencanaan plat buhul.



Gambar III.4. Letak buhul kuda-kuda utama



Gambar III.5. Buhul A

Pada potongan I-I

$$H = r \cdot \tan \alpha \quad (III.4a)$$

Dengan  $\alpha$  = kemiringan kuda-kuda

Gaya aksial,

$$N = N_{ub1} - N_{ua1x} \quad (III.4b)$$

Gaya Geser,

$$V = N_{ua1y} \quad (III.4c)$$

$$d_1 = 1/2h - e_y ; d_2 = 1/2h - e_y \quad (III.4d)$$

Momen,

$$M = N_{ub1} \cdot d_2 + N_{ua1x} \cdot d_1 \quad (III.4e)$$

$$Z_x = 0,25 \cdot t_{pb} \cdot h^2 \quad (III.4f)$$

$$M_n = 0,90 \cdot Z_x \cdot f_y \quad (III.4g)$$

$$V_n = 0,75 \cdot 0,60 \cdot h \cdot t_{pb} \cdot f_y \quad (III.4h)$$

Kontrol tegangan kombinasi yang terjadi pada plat buhul

$$\left( \frac{N}{N_n} + \frac{M}{M_n} \right)^2 + \frac{V}{V_n} \leq 1,0 \quad ; \text{ Jika tidak memenuhi, maka nilai } h \text{ atau } t_{pb} \text{ diperbesar.}$$

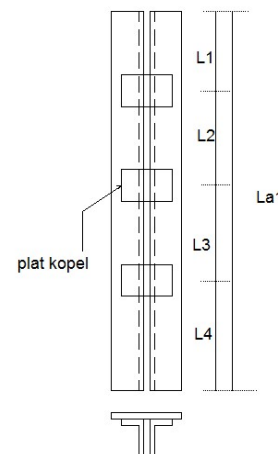
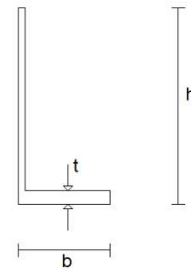
## 5. Perencanaan plat kopel

Plat kopel diperlukan hanya pada batang tekan saja. Dari tabel profil, diperoleh spesifikasi penampang untuk profil tunggal  $L_{b,h,t}$

Sebagai berikut :

a) Tinggi profil (h) = mm

- b) Lebar profil(b) = mm  
 c) Tebal profil (t) = mm  
 d) Luas tampang (A) = mm<sup>2</sup>  
 e)  $I_x$  = mm<sup>4</sup>  
 f)  $I_y$  = mm<sup>4</sup>  
 g)  $e_x$  = mm  
 h)  $e_y$  = mm



Gaya lintang untuk perencanaan plat kopel,

$$D = 0,02.N_{ua1}$$

$$S = A.(1/2.t_{pb} + e_x)$$

$$\tau = \frac{D.S}{I_y}$$

$I_y$  = momen inersia profil siku tunggal

Gaya geser yang didukung oleh plat kopel,

$$V = \tau.L_1$$

$$a = 2.(1/2.t_{pb} + e_x)$$

$$I_{min} = \beta.I_y$$

Dengan ,  $\beta = 0,40$  ( untuk profil siku sama kaki ) ,

$\beta = 0,55$  ( untuk profil siku tidak sama kaki)

Syarat plat kopel :

$$\frac{I_{plat\ kopel}}{a} \geq 10. \frac{I_{min}}{L_1}$$

$$\frac{1/12.t_{plat\ kopel}.h^3}{a} \geq 10. \frac{I_{min}}{L_1} \quad \text{dengan } h = \text{tinggi plat kopel, mm}$$

(catatan : tebal plat kopel usahakan sama dengan tebal profil siku )

Jadi digunakan  $t_{plat\ kopel} = t$  mm

$$\frac{1/12.t.h^3}{a} \geq 10. \frac{I_{min}}{L_1}$$

$$h^3 \geq \dots\dots\dots \text{mm}^3$$

$$h \geq \dots\dots\dots \text{mm}$$

Digunakan tinggi plat kopel,  $h = \dots\dots \text{mm}$  (dibulatkan keatas)

Jika alat sambung baut , maka  $h \geq 80$  mm



**\*Untuk alat sambung las :**

O = pusat berat sambungan las

$$e_{\text{las}} = \frac{z^2}{2 \cdot z + h}$$

$$I_{x-\text{las}} = 1/12 \cdot h^3 + 2 \cdot z \cdot (1/2h)^2$$

$$I_{y-\text{las}} = 2/3 \cdot (e_{\text{las}}^3 + (z - e_{\text{las}})^3) + h \cdot e_{\text{las}}^2$$

$$I_{p-\text{las}} = I_{x-\text{las}} + I_{y-\text{las}}$$

Momen terhadap titik berat las,

$$M = V \cdot (1/2 \cdot t_{pb} + z - e_{\text{las}})$$

Reaksi pada las,

$$R_x = \frac{M \cdot 1/2 \cdot h}{I_{p-\text{las}}} ; R_y = \frac{M \cdot (z - e_{\text{las}})}{I_{p-\text{las}}}$$

$$\text{Reaksi total, } \bar{R} = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$$

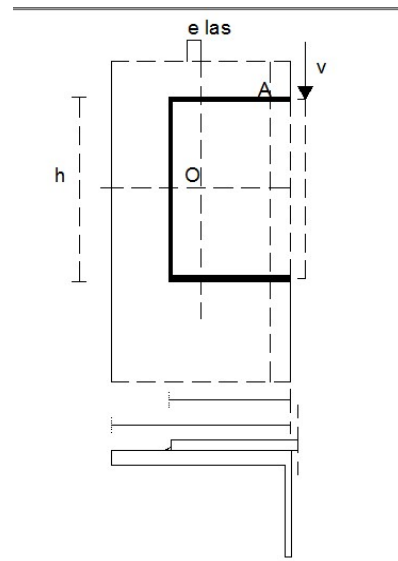
Dipakai elektroda las E..., dengan  $f_{uw} = \dots \text{MPa}$

$$a_{\text{las1}} = \frac{\bar{R}}{0,75 \cdot 0,707 \cdot (0,6 \cdot f_{uw})} = \dots \text{ mm}$$

$$a_{\text{las2}} = \frac{\bar{R}}{0,75 \cdot 0,707 \cdot (0,6 \cdot f_u)} = \dots \text{ mm}$$

Digunakan tebal rigi las,  $a = \dots \text{ mm}$  (diambil nilai terbesar dari kedua nilai di atas kemudian dibulatkan keatas)

Syarat =  $3 \text{ mm} < a < t_2$  ; jika tidak memenuhi, maka h di perbesar.



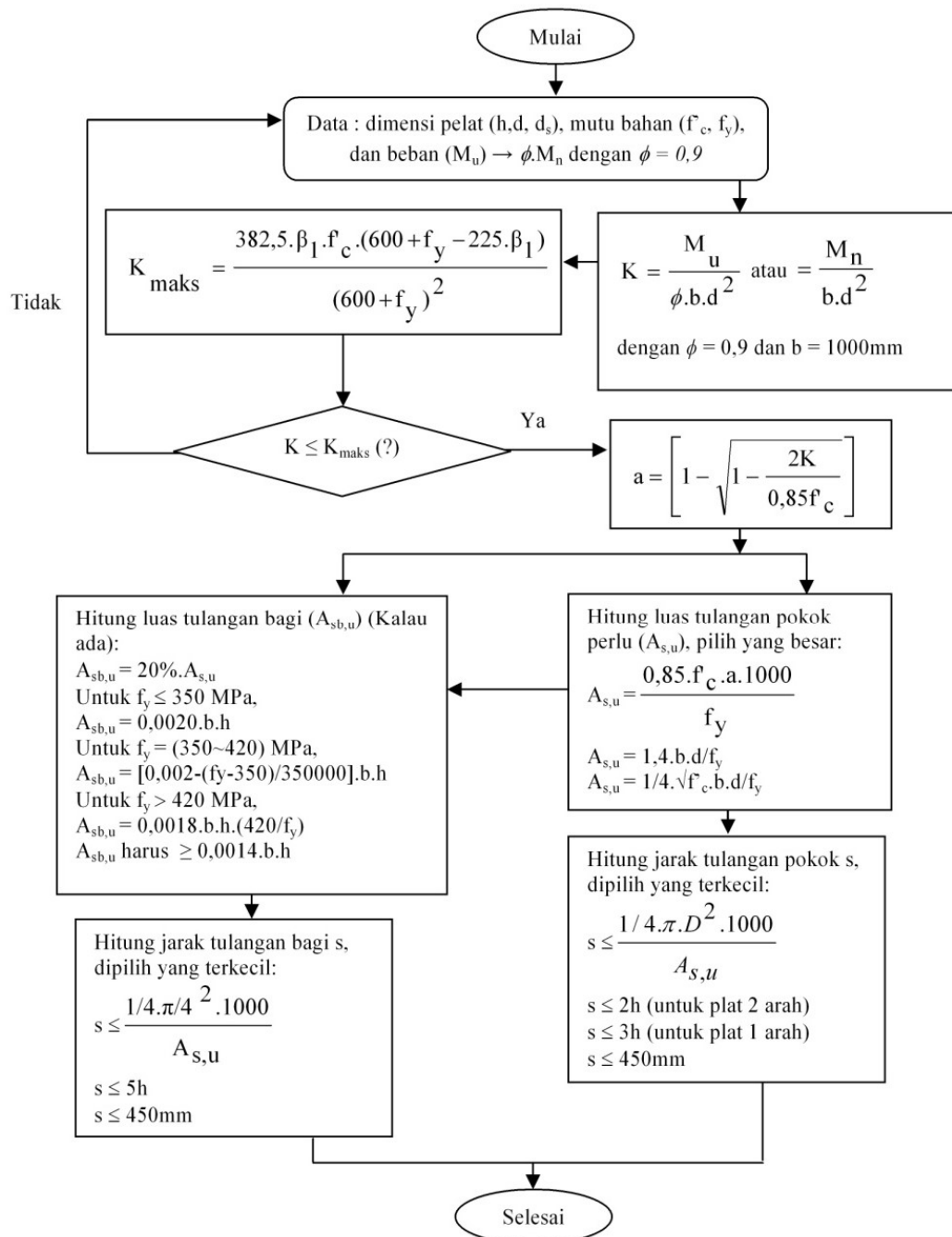
## B. Perencanaan Strukur Pelat Lantai dan Tangga

### 1. Perencanaan pelat lantai

Pelat beton bertulang yaitu struktur tipis yang dibuat dari beton bertulang dengan bidang yang arahnya horizontal, dan beban yang bekerja adalah tegak lurus pada bidang tersebut. Ketebalan bidang pelat ini relatif sangat kecil apabila dibandingkan dengan bentang panjang maupun lebarnya. Pelat beton bertulang ini sangat kaku dan arahnya horizontal, sehingga pada bangunan gedung, pelat berfungsi sebagai diafragma atau unsur pengaku horizontal yang sangat bermanfaat untuk mendukung ketegaraan balok portal (Asroni. A, 2014a: 161).

Beban yang bekerja pada pelat berupa beban vertikal, yaitu beban mati dan beban hidup saja. Pada hitungan pelat selalu diambil lebar pelat  $b = 1,0 \text{ m} = 1000 \text{ mm}$ .

Proses perencanaan pelat disajikan pada Gambar III.6.



Gambar III.6. Skema perencanaan pelat

## 2. Perencanaan tangga beton bertulang

Pada bangunan gedung bertingkat, umumnya tangga digunakan sebagai sarana penghubung antara lantai tingkat yang satu dengan lantai tingkat yang lain, khususnya bagi para pejalan kaki (Asroni. A, 2014a: 195).

Pada perencanaan tangga dipertimbangkan hal-hal berikut:

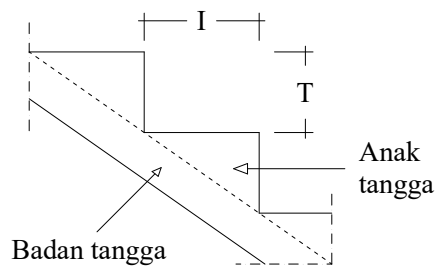
- 1). Ukuran anak tangga ditentukan dengan rumus:

$$2.T + I = (61 - 65)$$

(jarak satu langkah orang berjalan berkisaran antara 61 cm sampai dengan 65 cm, untuk orang Indonesia diambil 61 cm).

- 2). Berat anak tangga dihitung sebagai beban terbagi rata setebal  $T/2$

Keterangan:



$T$  = tinggi bidang tanjakan (*optrede*)  
atau tinggi anak tangga, cm.

$I$  = lebar bidang injakan (*aantrede*)  
atau lebar anak tangga, cm.

Gambar III.7. Ukuran anak tangga (T dan I)

- 3). Perhitungan tulangan

Perhitungan tulangan tangga dilaksanakan dengan cara Sama seperti hitungan tulangan pelat, dan dapat dilihat pada Gambar III.6.

## C. Perencanaan Balok

### 1. Perhitungan tulangan longitudinal balok

Tulangan longitudinal dipasang searah panjang batang balok (sehingga disebut tulangan memanjang), dan berfungsi menahan momen perlu balok.

Tulangan longitudinal dihitung berdasarkan momen perlu ( $M_u$ ) yang bekerja pada balok, dipilih nilai  $M_u$  yang terbesar dari:

- 1).  $M_u = 1,4.M_D$  (III.5a)

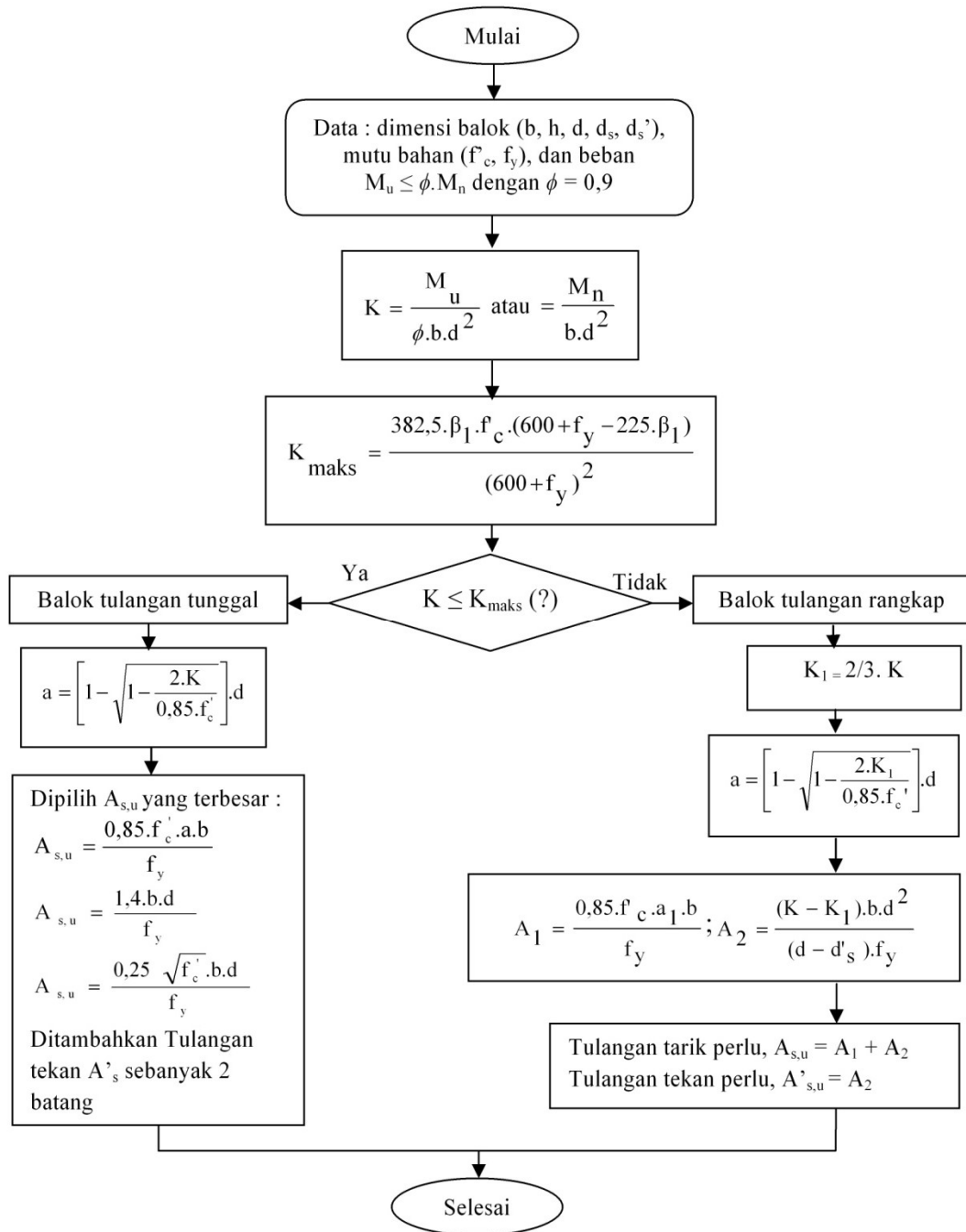
- 2).  $M_u = 1,2.M_D + 1,6.M_L$  (III.5b)

- 3).  $M_u = 1,2.M_D + M_L + M_E^{(+/-)}$  (III.5c)

$$4). M_u = 0,9.M_D + M_E^{(+/-)} \quad (III.5d)$$

dengan:  $M_D$ ,  $M_L$ , dan  $M_E$  masing-masing momen terfaktor yang diakibatkan oleh beban mati, beban hidup, dan beban gempa.

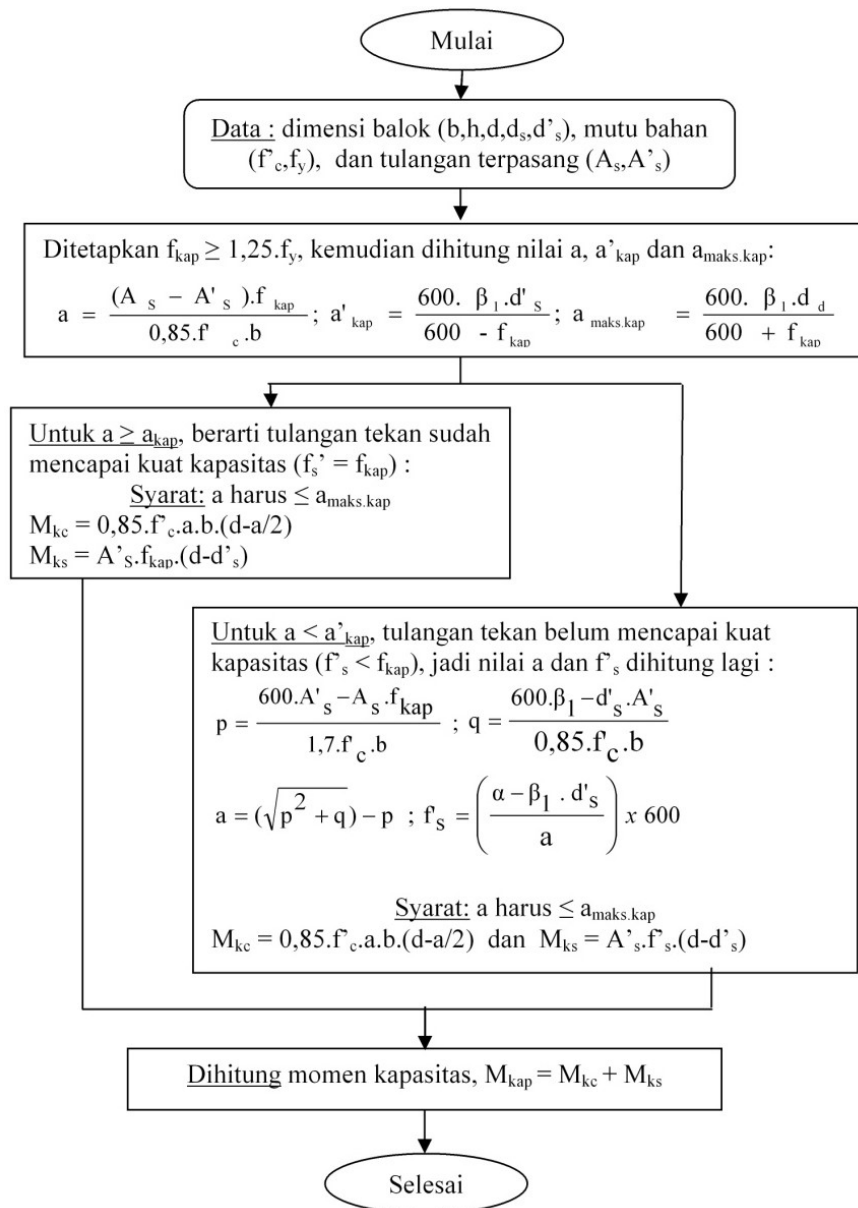
Proses perencanaan tulangan longitudinal balok disajikan pada Gambar III.8.



Gambar III.8. Skema perhitungan tulangan longitudinal balok

## 2. Momen kapasitas balok ( $M_{kap}$ )

Momen kapasitas balok ( $M_{kap}$ ) dihitung berdasarkan tulangan terpasang pada balok dengan menganggap kuat tarik tulangan  $f_{kap}$  sebesar 1,25 kali kuat leleh  $f_y$ , prinsip perhitungan momen kapasitas balok sama dengan hitungan momen desain balok pada portal SRPMM, dengan mengganti  $f_y$  menjadi  $f_{kap}$ . Prosedur hitungan momen kapasitas balok dilaksanakan seperti pada Gambar III.9.



Gambar III.9. Skema perhitungan momen kapasitas balok

### 3. Perhitungan tulangan geser balok

Pemasangan begel balok di daerah sendi plastis (sepanjang  $2h$  dari muka kolom) dibuat lebih rapat daripada di bagian tengah bentang balok. Disamping itu, balok harus dirancang agar tidak gagal oleh pengaruh gaya geser, sebelum gagal oleh momen. Oleh karena itu, begel balok harus diperhitungkan agar mampu menahan momen kapasitas dari balok tersebut.

Tulangan geser (begel) balok dihitung berdasarkan gaya geser perlu  $V_u$  terbesar yang bekerja pada balok:

$$1). V_u = 1,4.V_D \quad (III.6a)$$

$$2). V_u = 1,2.V_D + 1,6.V_L \quad (III.6b)$$

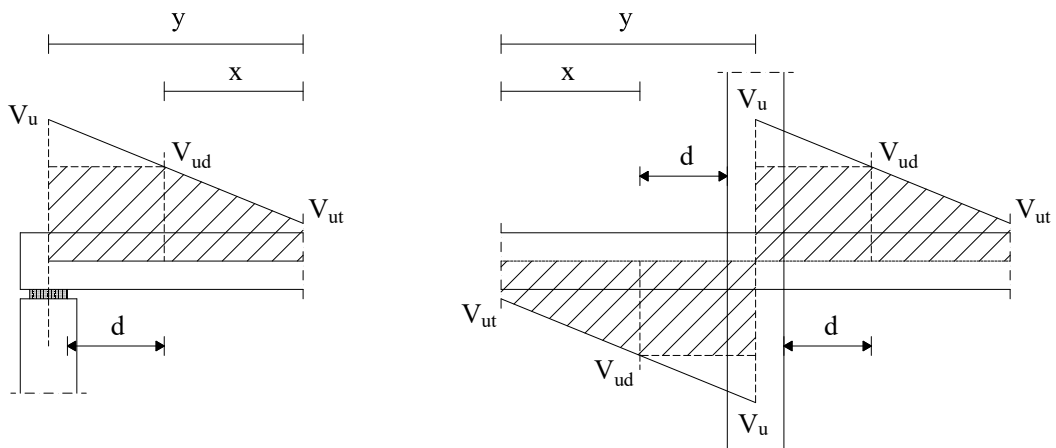
$$3). V_u = 1,2.V_D + V_L + V_E^{(+/-)} \quad (III.6c)$$

$$4). V_u = \frac{M_{kap,i} + M_{kap,a}}{l_{n,b}} + (1,2q_D + q_L).l_{n,b}/2 \quad (III.6d)$$

dengan:  $V_D$ ,  $V_L$ , dan  $V_E$  masing-masing gaya geser terfaktor yang diakibatkan oleh beban mati, beban hidup, dan beban gempa

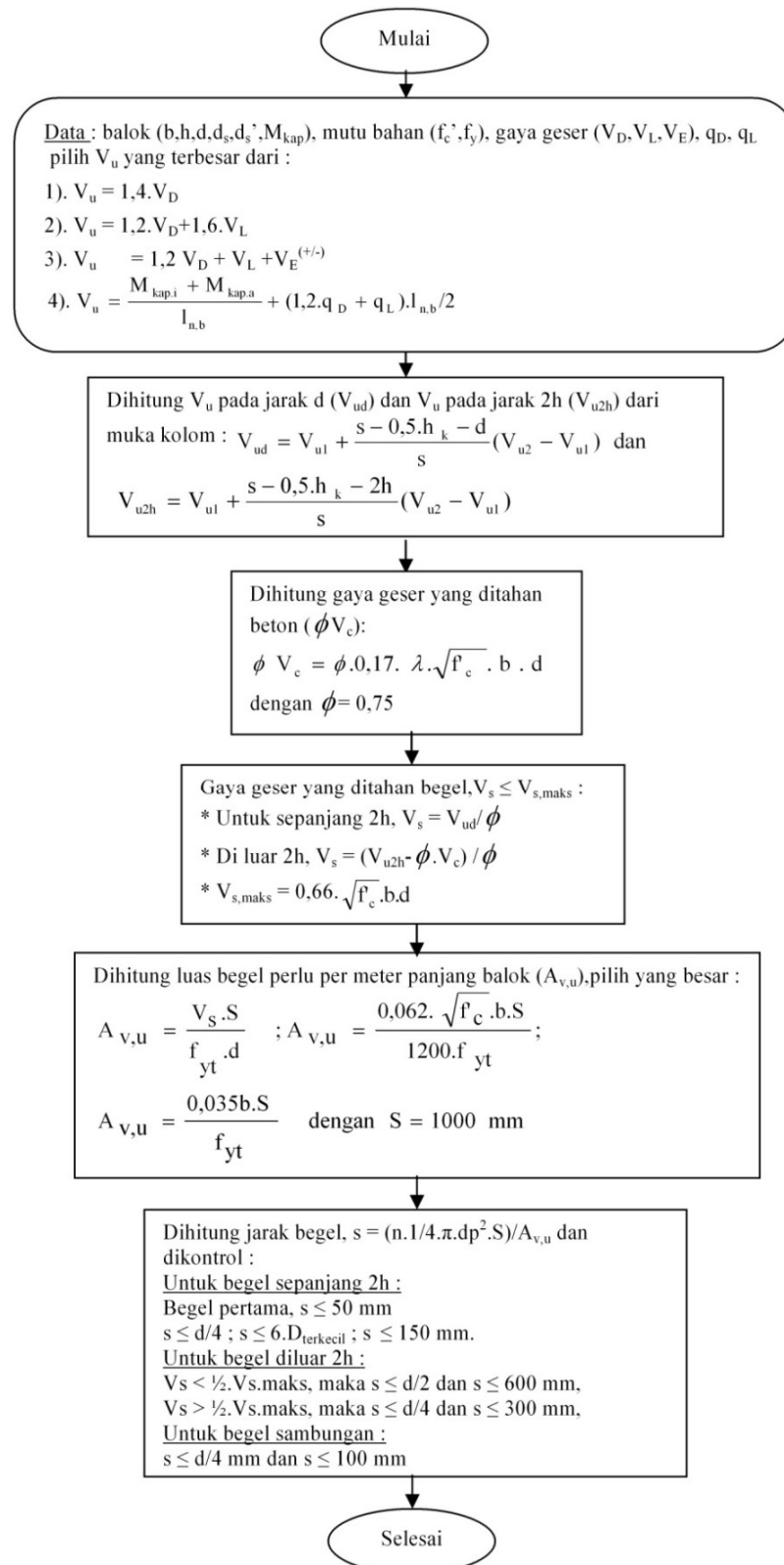
Pasal 11.1.3.1 SNI 2847:2013, nilai  $V_u$  boleh diambil pada jarak  $d$  (menjadi  $V_{ud}$ ) dari muka kolom sebagai berikut:

$$V_{ud} = V_{ut} + \frac{x}{y}.(V_u - V_{ut}) \quad (III.6e)$$



Gambar III.10. Lokasi gaya geser maksimum ( $V_{ud}$ ) untuk perencanaan

Proses perhitungan tulangan geser (begel) balok disajikan pada Gambar III.11.



Gambar III.11. Skema perhitungan tulangan geser (begel) balok

#### 4. Perhitungan torsi balok

Torsi atau momen punter adalah momen yang bekerja terhadap sumbu longitudinal balok / elemen struktur. Torsi dapat terjadi karena adanya beban eksentrik yang bekerja pada balok tersebut.

Beberapa pertimbangan yang perlu diperhatikan untuk torsi pada balok adalah sebagai berikut :

- 1). Berdasarkan Pasal 11.5.3.1 SNI 4847:2013, dimensi penampang melintang harus memenuhi syarat berikut :

a). Penampang solid :

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b.d}\right)^2 + \left(\frac{T_u \cdot p_h}{1,7 \cdot A_{0h}^2}\right)^2} \leq \phi \left( \frac{V_c}{b.d} + 0,66 \cdot \sqrt{f'_c} \right) \quad (\text{III.7a})$$

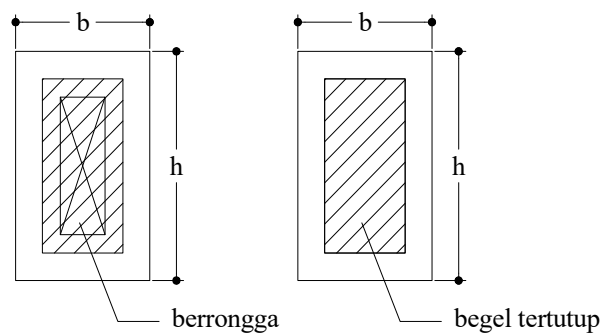
b). Penampang berrongga :

$$\left( \frac{V_u}{b.d} \right) + \left( \frac{T_u \cdot p_h}{1,7 \cdot A_{0h}^2} \right) \leq \phi \left( \frac{V_c}{b.d} + 0,66 \cdot \sqrt{f'_c} \right) \quad (\text{III.7b})$$

c). Penampang berrongga, jika tebal dinding  $\leq A_{0h}/p_h$ , maka persamaan

$$\text{menjadi : } \left( \frac{V_u}{b.d} \right) + \left( \frac{T_u}{1,7 \cdot A_{0h} \cdot t} \right) \leq \phi \left( \frac{V_c}{b.d} + 0,66 \cdot \sqrt{f'_c} \right) \quad (\text{III.7c})$$

dengan  $A_{0h}$  dan  $p_h$  masing-masing luas dan daerah keliling yang diarsir pada Gambar III.12.



Gambar III.12 Definisi  $A_{0h}$  dan  $p_h$

- 2). Berdasarkan Pasal 11.5.1 SNI 2847:2013, pengaruh puntir dapat diabaikan jika momen puntir terfaktor  $T_u$  memenuhi syarat berikut :

$$T_u < \phi \cdot 0,083 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot \left( \frac{A_{cp}^2}{p_{cp}} \right) \quad (\text{III.7d})$$



dengan :

$$\phi = 0,75$$

$A_{cp}$  = luas penampang keseluruhan, termasuk rongga pada penampang berrongga, mm<sup>2</sup>.

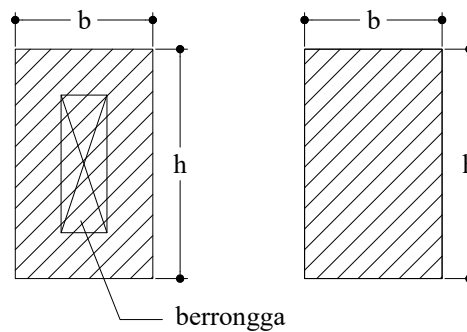
$P_{cp}$  = keliling penampang keseluruhan (keliling batas terluar daerah yang diarsir, mm.

$\lambda$  = faktor beton agregat ringan

= 0,75 jika digunakan beton ringan.

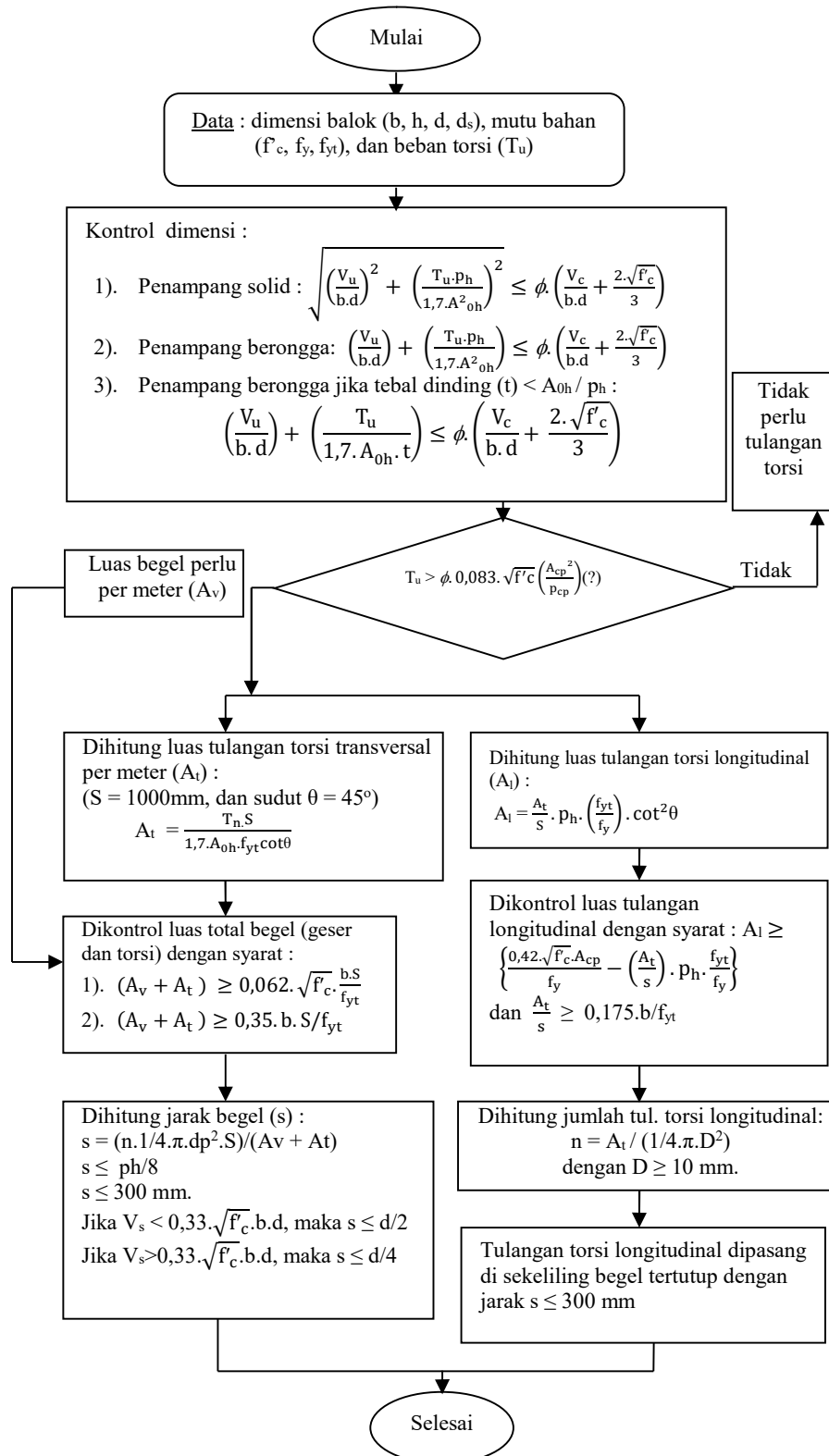
= 1 jika digunakan beton normal.

(III.7e)



Gambar III.13 Contoh  $A_{cp}$  dan  $p_{cp}$

Proses hitungan tulangan torsi balok dilaksanakan seperti pada gambar III.14, dengan penjelasan sebagai berikut.



Gambar III.14 Skema perhitungan tulangan torsi balok

## D. Perencanaan Kolom

### 1. Persyaratan desain

Beberapa persyaratan khusus yang harus dipenuhi dalam perencanaan kolom portal SRPMK adalah sebagai berikut.

- 1). Mutu beton  $f'_c \geq 20$  MPa, baja tulangan  $f_y$  dan  $f_{yt} \leq 420$  MPa (III.8a)

- 2). Luas tulangan kolom,  $A_{st}$  (Pasal 21.6.3.1 SNI 2847:2013)

$$A_{st} \geq 0,01.A_g \text{ dan } A_{st} \leq 0,06.A_g \quad (\text{III.8b})$$

- 3). Persyaratan kolom (struktural yang memikul beban lentur dan aksial) sebagai berikut:

- a). Gaya aksial tekan terfaktor pada kolom,  $P_{u,k}$  boleh  $> 0,1.f'_c.A_g$  dengan

$$A_g \text{ adalah luad bruto penampang kolom (Pasal 21.6.1)} \quad (\text{III.8c})$$

- b). Luas kolom  $b$  harus  $\geq 300$  mm (Pasal 21.6.1.1) (III.8d)

- c). Perbandingan  $b$  dan  $h$ ,  $b \geq 0,4 h$  (Pasal 21.6.1.2) (III.8e)

- 4). Gaya aksial perlu terfaktor,  $P_{u,k}$  atau  $N_{u,k}$

$$N_{u,k} = 1,4.N_{D,k} \quad (\text{III.9a})$$

$$N_{u,k} = 1,2.N_{D,k} + 1,6.N_{L,k} \quad (\text{III.9b})$$

$$N_{u,k} = 1,2.N_{D,k} + N_{L,k} + N_{E,k}^{(+/-)} \quad (\text{III.9c})$$

$$N_{u,k} = \sum \left( \frac{\sum M_{\text{kap,balok}}}{I_{\text{bersih,balok}}} \right) + \sum N_{g,k} \quad (\text{III.9d})$$

dengan :  $N_{g,k}$  = gaya aksial akibat gravitasi =  $1,2.N_{D,k} + N_{L,k}$

- 5). Momen perlu kolom,  $M_{u,k}$  :

$$M_{u,k} = 1,4.M_{D,k} \quad (\text{III.10a})$$

$$M_{u,k} = 1,2.M_{D,k} + 1,6.M_{L,k} \quad (\text{III.10b})$$

$$M_{u,k} = 1,2 M_{D,k} + M_{L,k} + M_{E,k}^{(+/-)} \quad (\text{III.10c})$$

$$M_{u,k} = 1,2.\alpha_{k,a/b} \cdot \frac{I_u}{I_k} \cdot \left( \frac{I_{b,k}}{I_{nb,k}} M_{\text{kap,i}} + \frac{I_{b,a}}{I_{nb,a}} M_{\text{kap,a}} \right) \quad (\text{Pasal 21.6.2.2}) \quad (\text{III.10d})$$

$$\alpha_{k,a/b} = M_{E,ka/b} / (M_{E,ka} + M_{E,kb}) \quad (\text{III.10e})$$

dengan :

$\alpha_{k,a/b}$  = factor distribusi momen lentur akibat pengaruh desain beban gempa pada ujung atas/bawah dari kolom yang ditinjau.

$M_{E,ka/b}$  = momen lentur akibat desain beban gempa pada ujung atas/bawah dari kolom yang ditinjau, kNm.

$I_u$  dan  $I_k$  = tinggi bersih dan tinggi bruto kolom, m.

$I_{b,i}$  dan  $I_{b,a}$  = panjang bruto balok di kiri dan kanan kolom, m.

$I_{nb,i}$  dan  $I_{nb,a}$  = panjang bersih balok dikiri dan kanan kolom, m.

$M_{kap,i}$  dan  $M_{kap,a}$  = momen kapasitas balok di kiri dan kanan kolom, kNm.

6). Gaya geser perlu kolom  $V_{u,k}$  dipilih yang terbesar dari nilai berikut :

$$V_{u,k} = 1,4.V_{D,k} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{(III.11a)} \\ \text{(Pasal 9.2.1)} \\ \text{(III.11c)} \end{array} \quad \text{(III.11a)}$$

$$V_{u,k} = 1,2.V_{D,k} + 1,6.V_{L,k} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{(Pasal 9.2.1)} \\ \text{(III.11b)} \\ \text{(III.11c)} \end{array} \quad \text{(III.11b)}$$

$$V_{u,k} = 1,2 V_{D,k} + V_{L,k} + V_{E,k}^{(+/-)} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{(Pasal 9.2.1)} \\ \text{(III.11b)} \\ \text{(III.11c)} \end{array} \quad \text{(III.11c)}$$

$$V_{u,k} = (M_{kap,ka} + M_{kap,kb})/I_u \quad \text{(Pasal 21.6.2.2)} \quad \text{(III.11d)}$$

dengan :

$V_D$  dan  $V_L$  = gaya geser akibat beban mati dan beban hidup, kN.

$V_E^{(+/-)}$  = gaya geser kolom akibat beban gempa dengan arah ke kanan  $E^{(+)}$  atau ke kiri  $E^{(-)}$ , kN.

$M_{kap,ka}$  dan  $M_{kap,kb}$  = momen kapsitas atau momen lentur untuk perhitungan dengan menggunakan kuat tarik tulangan sebesar  $1,25.f_y$  pada ujung atas dan ujung bawah kolom, kNm.

7). Jarak begel (s) pada kolom :

a). Begel pada daerah sendi plastis (sepanjang  $I_o$  dari muka *joint*) (Pasal 21.6.4.3):

$$s \leq b/4 ; s \leq 6.D_{\text{terkecil}} \quad \text{(III.12a)}$$

$$s \leq 100 + \frac{350-h_x}{3} \quad \text{(III.12b)}$$

$$s \leq 150 \text{ mm tetapi } s \geq 100 \text{ mm} \quad \text{(III.12c)}$$

dengan :  $h_x$  = jarak antara kaki begel diukur dari as ke as, mm.

b). Begel di luar  $I_o$  :

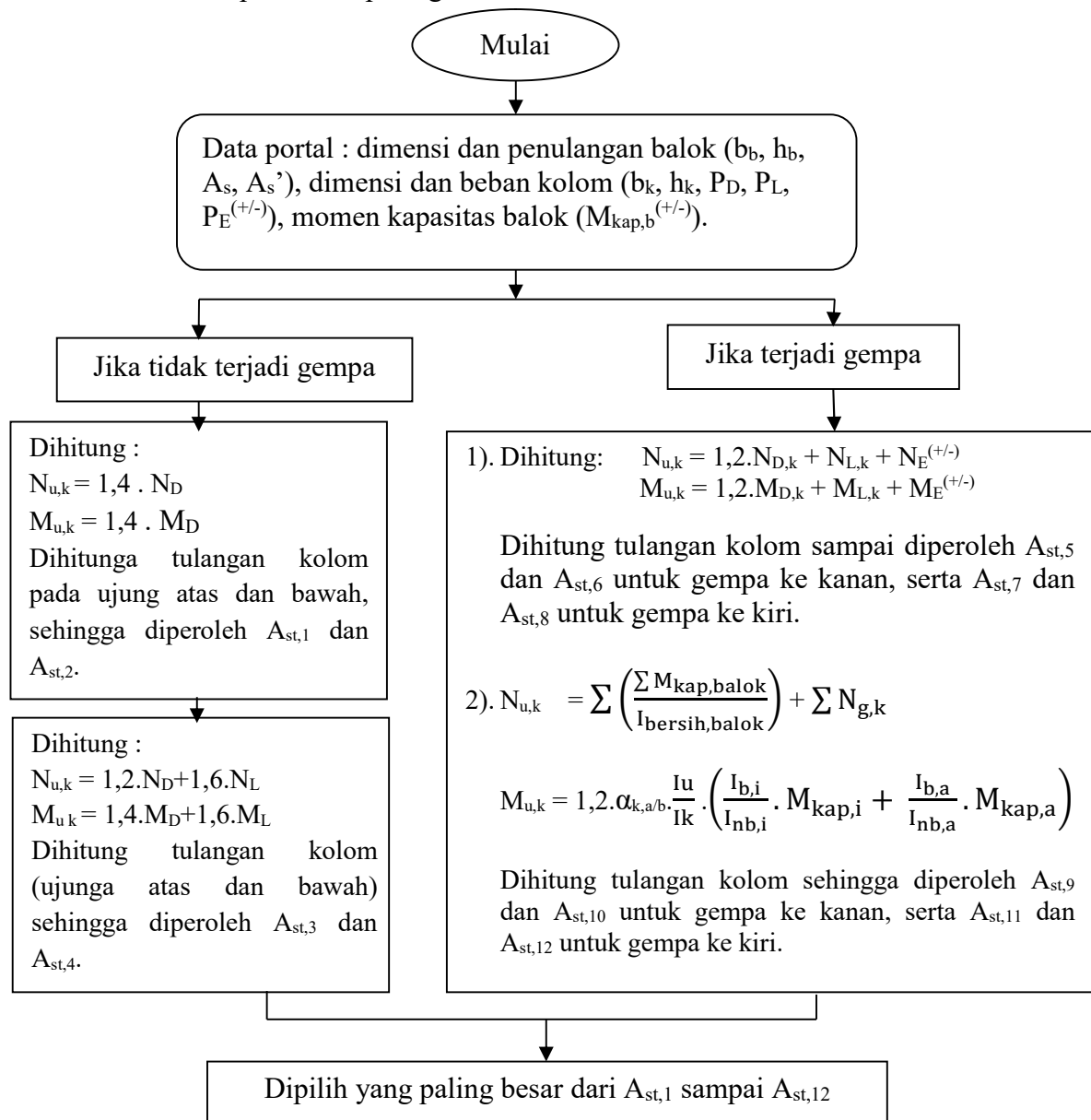
$$s \leq 16.D ; s \leq 48.\emptyset_{\text{begel}} \quad \text{(III.12d)}$$

$$\text{Jika } V_s < 0,033 \cdot \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d : s \leq d/2 ; \text{ dan } s \leq 600 \text{ mm} \quad (\text{III.12e})$$

$$\text{Jika } V_s > 0,033 \cdot \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d : s \leq d/4 ; \text{ dan } s \leq 300 \text{ mm} \quad (\text{III.12f})$$

## 2. Perhitungan tulangan longitudinal kolom

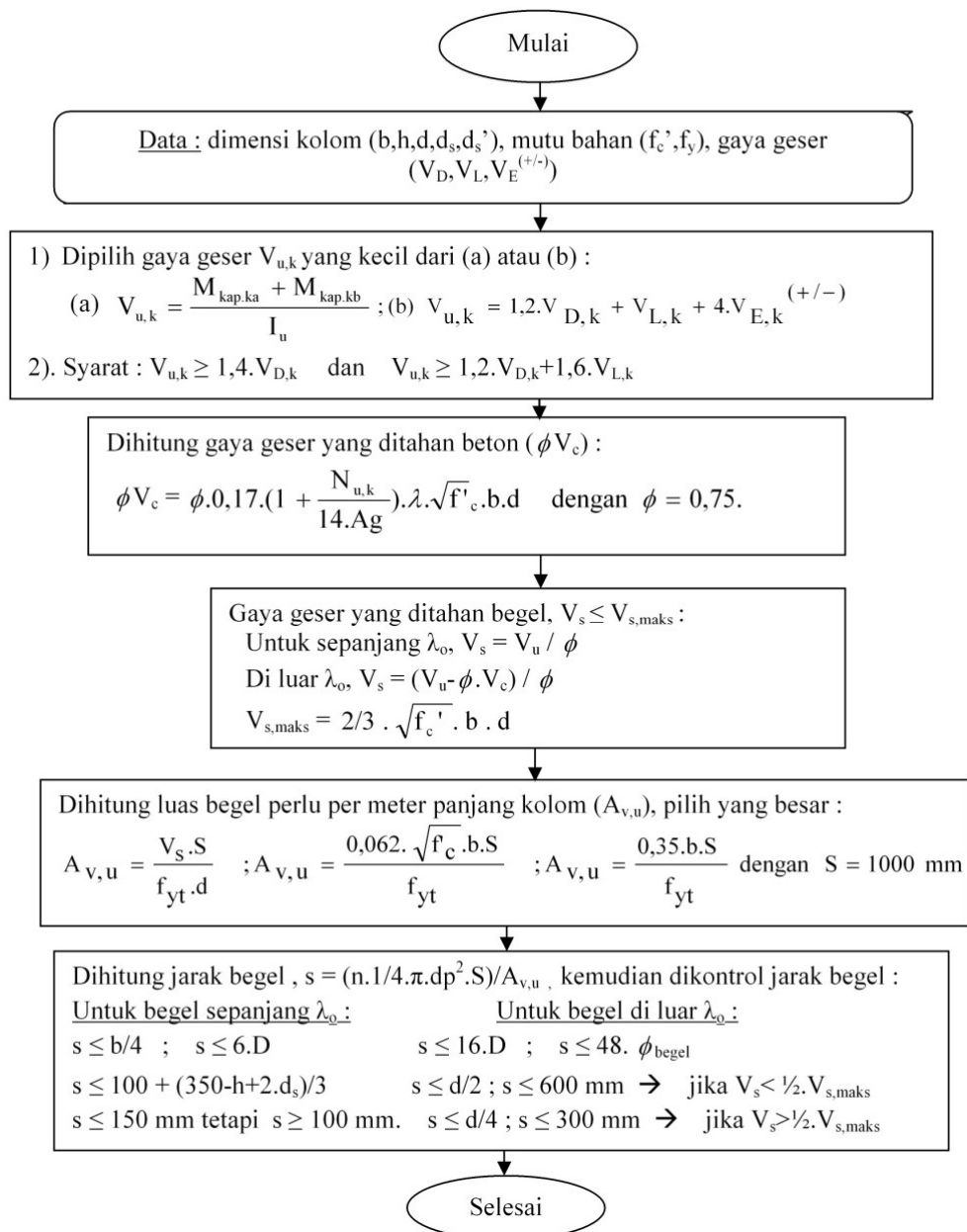
Hitungan tulangan longitudinal kolom untuk portal SRPMK dapat dilakukan dengan 3 cara, yaitu : dengan menggunakan diagram (Suprayogi,1991), membuat diagram desain kolom, atau dengan cara analisis. Agar lebih jelas, hitungan longitudinal kolom yang direncanakan dengan portal SRPMK dapat dilihat pada gambar III.15.



Gambar III.15 Skema perhitungan tulangan longitudinal kolom

### 3. Perhitungan tulangan geser kolom

Begel kolom dihitung berdasarkan kombinasi gaya geser yang bekerja pada kolom akibat beban mati, beban hidup, dan beban gempa menurut persamaan (III.11.a),(III.11.b) dan (III.11.c), serta dengan mempertimbangkan terbentuknya sendi plastis (momen kapasitas,  $M_{kap,k}$ ) pada ujung-ujung kolom sesuai persamaan (III.11.d). Proses perhitungan tulangan geser (begel) kolom disajikan pada Gambar III.16



Gambar III.16 Skema perhitungan tulangan geser (begel) kolom

## E. Perencanaan Tulangan Geser *Joint*

### 1. Persyaratan desain

Beberapa persyaratan khusus yang harus dipenuhi dalam desain *joint* untuk portal SRPMK adalah sebagai berikut :

- 1). Lebar efektif *joint* harus disesuaikan dengan dimensi balok maupun kolom yang merangkap pada *joint*.

- 2). Tegangan tarik tulangan balok disekitar *joint* :

$$f_{kap} = 1,25.f_y \quad (\text{Pasal 21.7.2.1}) \quad (\text{III.13a})$$

- 3). Tinggi penampang kolom :

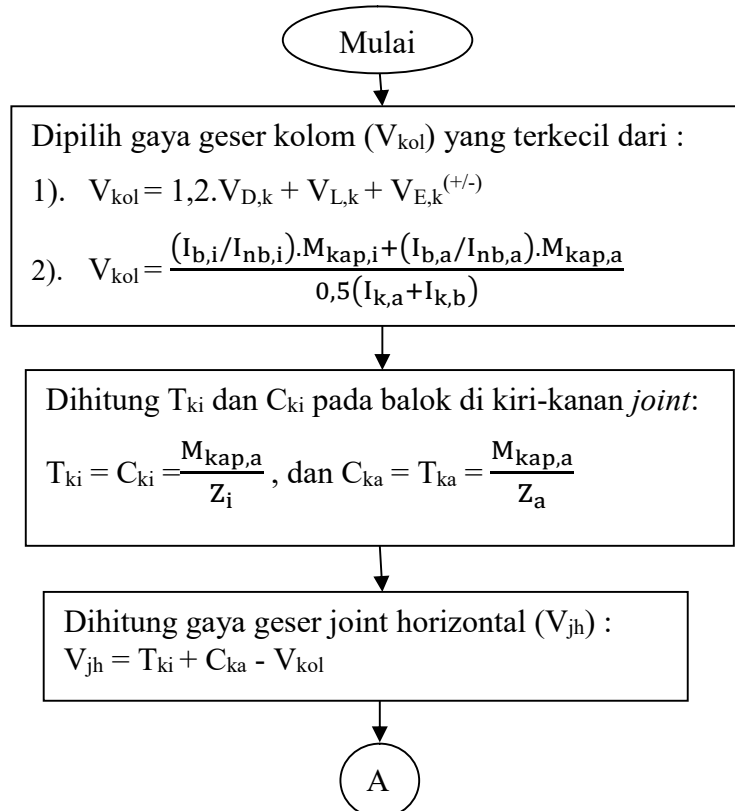
$$h_k \geq 20.D_{\text{terbesar, balok}} \quad (\text{Pasal 21.7.2.3}) \quad (\text{III.13b})$$

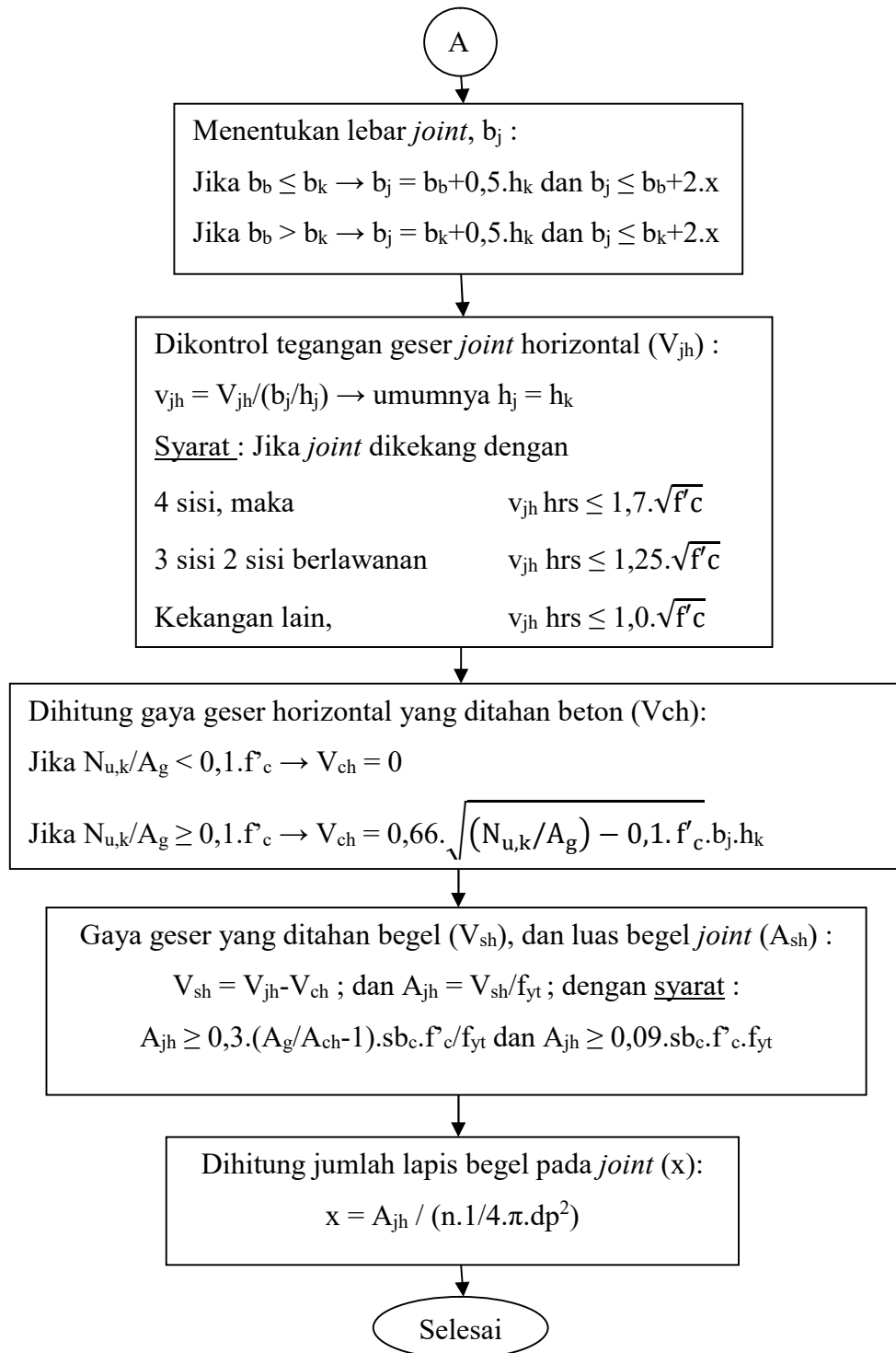
- 4). Balok yang merangkap pada *joint* :

$$(b_b.h_b) \text{ harus } \geq 3/4.(b_j.I_j) \quad (\text{Pasal 21.7.4.1}) \quad (\text{III.13c})$$

### 2. Tulangan geser *joint* horizontal

Hitungan tulangan geser *joint* horizontal dari portal SRPMK dilaksanakan sebagai berikut :

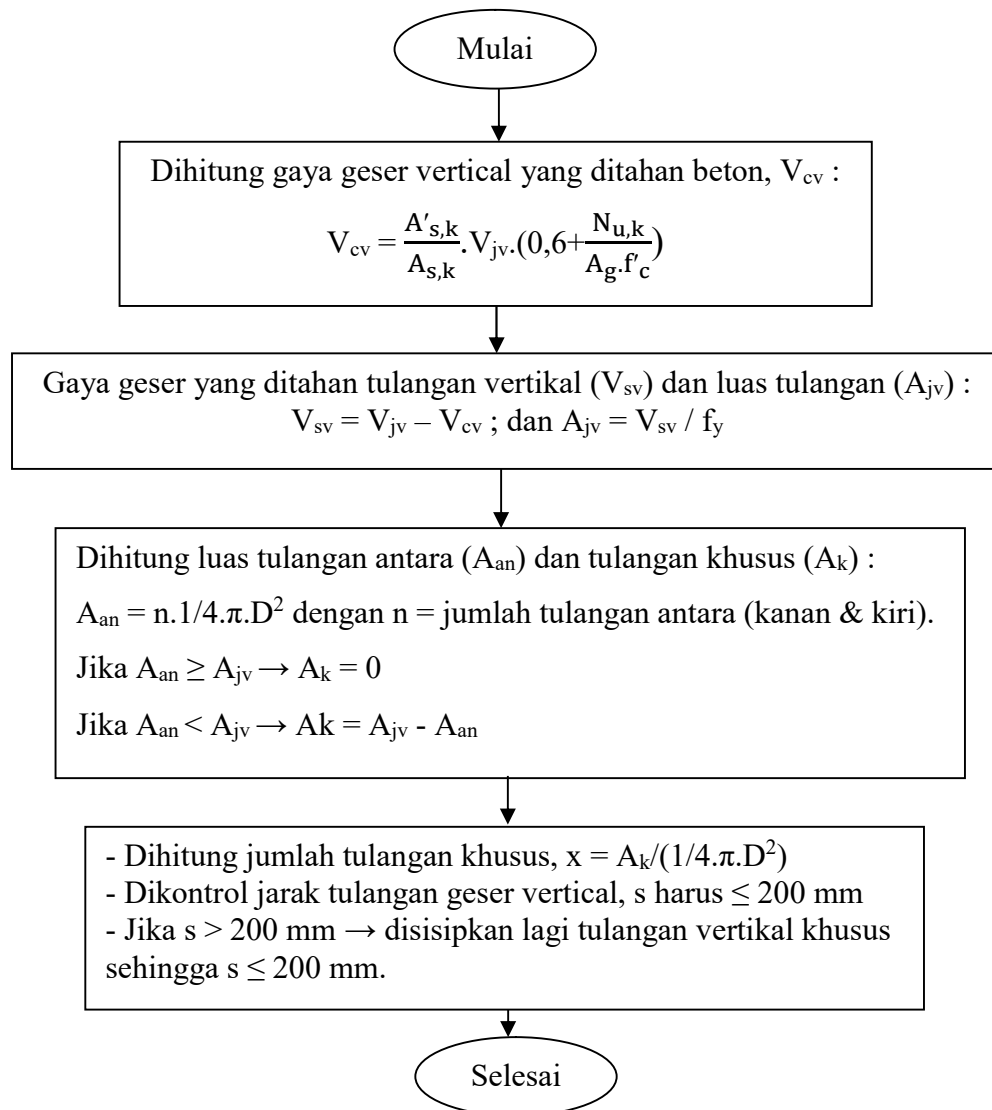


Gambar III.17. Skema desain tulangan geser *joint* horizontal



### 3. Tulangan geser *joint* vertikal

Hitungan tulangan geser *joint* vertikal dari portal SRPMK dilaksanakan sebagai berikut :



Gambar III.18. Skema desain tulangan geser *joint* vertikal

## F. Perencanaan Fondasi dan *Sloof*

### 1. Perencanaan fondasi tiang pancang

#### a) Perhitungan daya dukung izin tiang pancang

Analisis daya dukung izin tiang pancang berdasarkan data  $N$  *SPT* dihitung menggunakan persamaan dari mayerhof :

$$P_a = \frac{q_c \cdot A_p}{SF} + \frac{\sum I_i \cdot f_i \cdot A_{st}}{SF2} \quad (III.14a)$$

dengan :

$P_a$  = daya dukung izin tiang, ton

$N$  = Nnilai  $N$  *SPT*

$Q_c$  = tahanan ujung konus ( untuk pasir  $q_c = 40$  N dan untuk lanau/ lempung  $q_c = 20$  N )

$A_p$  = luas penampang ,  $m^2$

$A^{st}$  = keliling penampang, m

$I_i$  = panjang segmen tiang yang ditinjau ,m

$F_i$  = gaya geser pada selimut segmen tiang ( untuk pasir  $f_i = N/5$  dengan  $f_{i,max} = 10$  t/ $m^2$  dan untuk lanau/ lempung  $f_i = N$  dengan  $f_{i,max} = 12$  t/ $m^2$  )

SF1 = faktor keamanan 3

SF2 = faktor keamanan 5

#### b) Jumlah tiang yang diperlukan

dihitung dengan rumus :

$$n_p = \frac{P_{uk}}{P_a} \quad (III.14b)$$

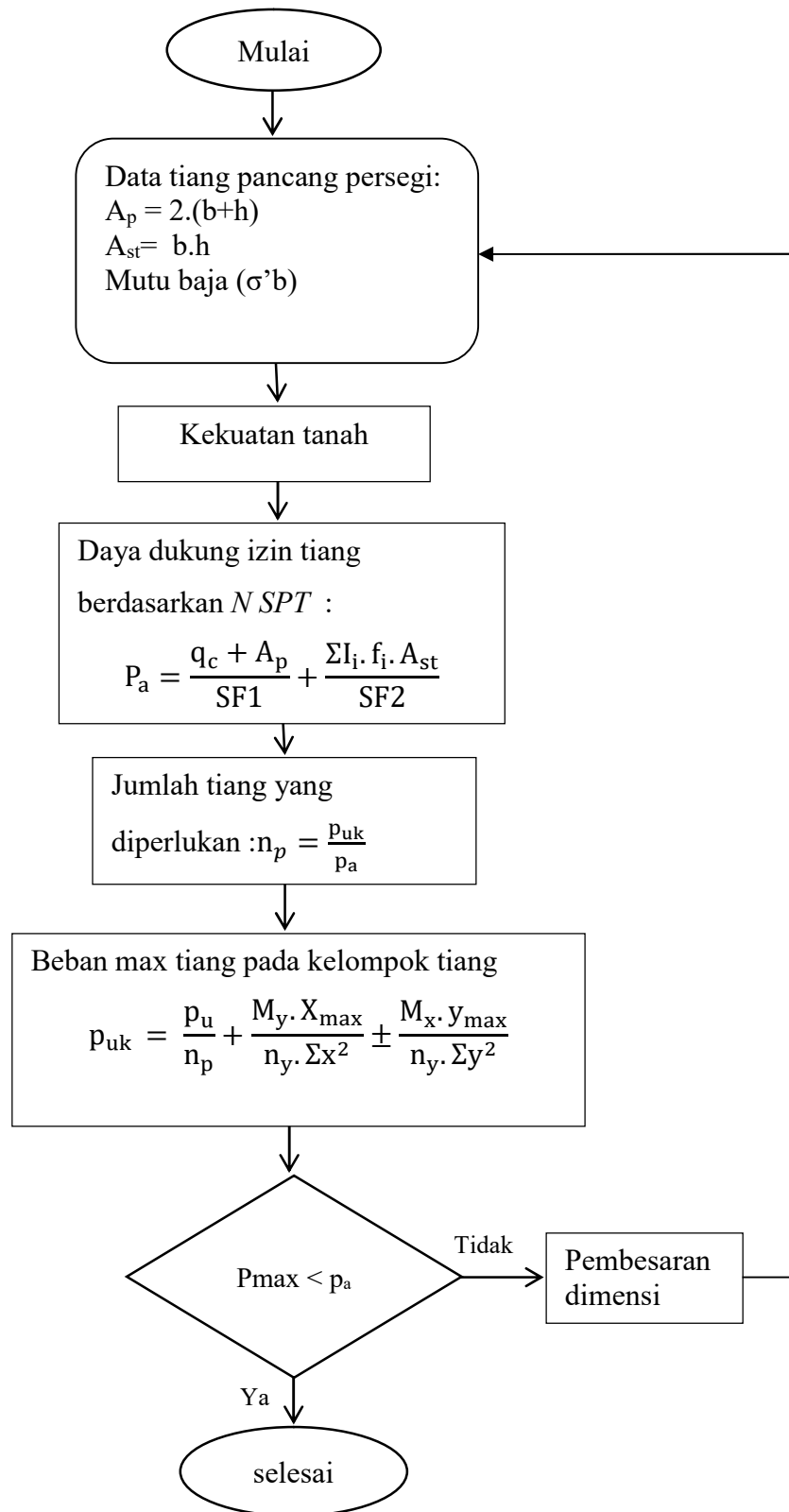
dengan :

$N_p$  = jumlah tiang

$P_{uk}$  = gaya aksial perlu kolom, kN

$P_a$  = daya dukung tiang, kN

Skema perhitungan daya dukung izin tiang pancang dan jumlah tiang yang diperlukan disajikan pada gambar III.19



Gambar III.19 Skema perhitungan kebutuhan tiang

## 2. Perhitungan tulangan tiang pancang

**2a). Analisis gaya dalam tiang pancang.** Perhitungan momen yang dapat diterima tiang pancang dipengaruhi oleh 2 metode yaitu :

1). Metode pengangkatan satu titik.

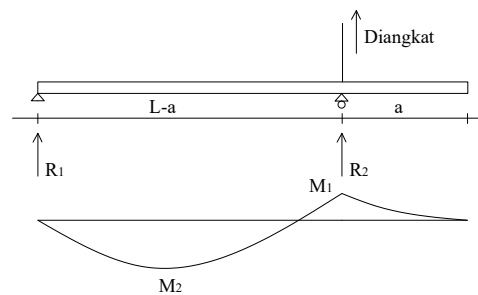
$\sum M_{R2} = 0$ , diperoleh :

$$R_1 = \frac{1}{2} \cdot q \cdot (L-a) - \frac{(1/2 \cdot q \cdot a^2)}{(L-a)}$$

$$= \frac{q \cdot (L-a)}{2} - \frac{1/2 \cdot q \cdot a^2}{L-a} = \frac{q \cdot (L-a)^2 - q \cdot a^2}{2 \cdot (L-a)} = \frac{q \cdot (L^2 - a \cdot L)}{2 \cdot (L-a)}$$

$$M_x = R_1 \cdot x - \frac{1}{2} \cdot q \cdot x^2$$

$$\text{Syarat ekstrim: } \frac{dM_x}{dx} = 0$$



Gambar III.20. Gaya dalam pada pengangkatan satu titik.

$$R_1 - q \cdot x = 0$$

$$x = \frac{R_1}{q} = \frac{L^2 - 2 \cdot a \cdot L}{2 \cdot (L-a)}$$

$$M_{\text{maks}} = M_2 = R_1 \cdot x - \frac{1}{2} \cdot q \cdot x^2$$

$$M_1 = \frac{1}{2} \cdot q \cdot a^2$$

$$M_1 = M_2 \rightarrow \frac{1}{2} \cdot q \cdot a^2 = \frac{1}{2} \cdot q \cdot \left( \frac{L^2 - 2 \cdot a \cdot L}{2 \cdot (L-a)} \right)^2$$

$$a^2 = \left( \frac{L^2 - 2 \cdot a \cdot L}{2 \cdot (L-a)} \right)^2$$

Diperoleh nilai a dalam persamaan berikut :

$$2a^2 - 4 \cdot a \cdot L + L^2 = 0, \longrightarrow a = 0,293 \cdot L \quad (\text{III.14c})$$

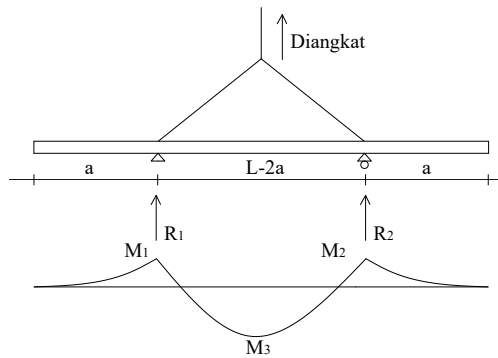
Jadi :

$$M_1 = \frac{1}{2} \cdot q \cdot a^2 \text{ dengan } a = 0,293 \cdot L \quad (\text{III.14d})$$

Mencari gaya geser :

$$V_{u1} = R_1 - q \cdot (L-a) = \frac{q \cdot (L^2 - a \cdot L)}{2 \cdot (L - a)} - q \cdot (L-a) \quad (\text{III.14e})$$

2). Metode pengangkatan dua titik.



Gambar III.21. Gaya dalam pada pengangkatan dua titik.

$$M_1 = M_2 = \frac{1}{2} \cdot q \cdot a^2$$

$$M_3 = \frac{1}{8} \cdot q \cdot (L-2a)^2 - \frac{1}{2} \cdot q \cdot a^2$$

$$M_1 = M_3 \rightarrow \frac{1}{2} \cdot q \cdot a^2 = \frac{1}{8} \cdot q \cdot (L-2a)^2 - \frac{1}{2} \cdot q \cdot a^2$$

$$q \cdot a^2 = \frac{1}{8} \cdot q \cdot (L-2a)^2$$

sehingga diperoleh nilai a dalam persamaan berikut :

$$4 \cdot a^2 + 4 \cdot aL - L^2 = 0, \longrightarrow a = 0,207 \cdot L \quad (\text{III.14f})$$

Mencari reaksi perletakan :

$$R_1 = R_2 = \frac{q \cdot L}{2} \quad (\text{III.14g})$$

Mencari gaya geser :

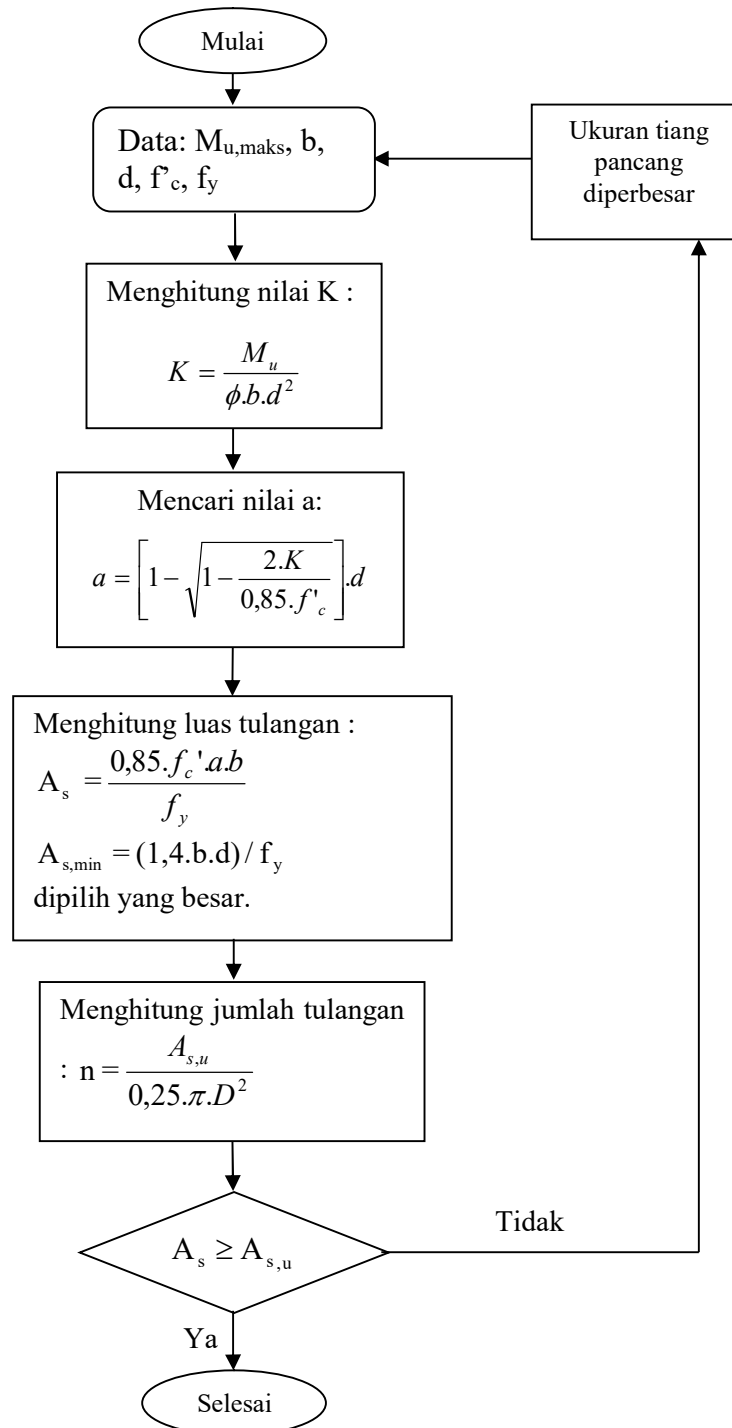
$$V_{u2} = -q \cdot a + R_1 = -q \cdot a + \frac{q \cdot L}{2} \quad (\text{III.14h})$$

Mencari momen :

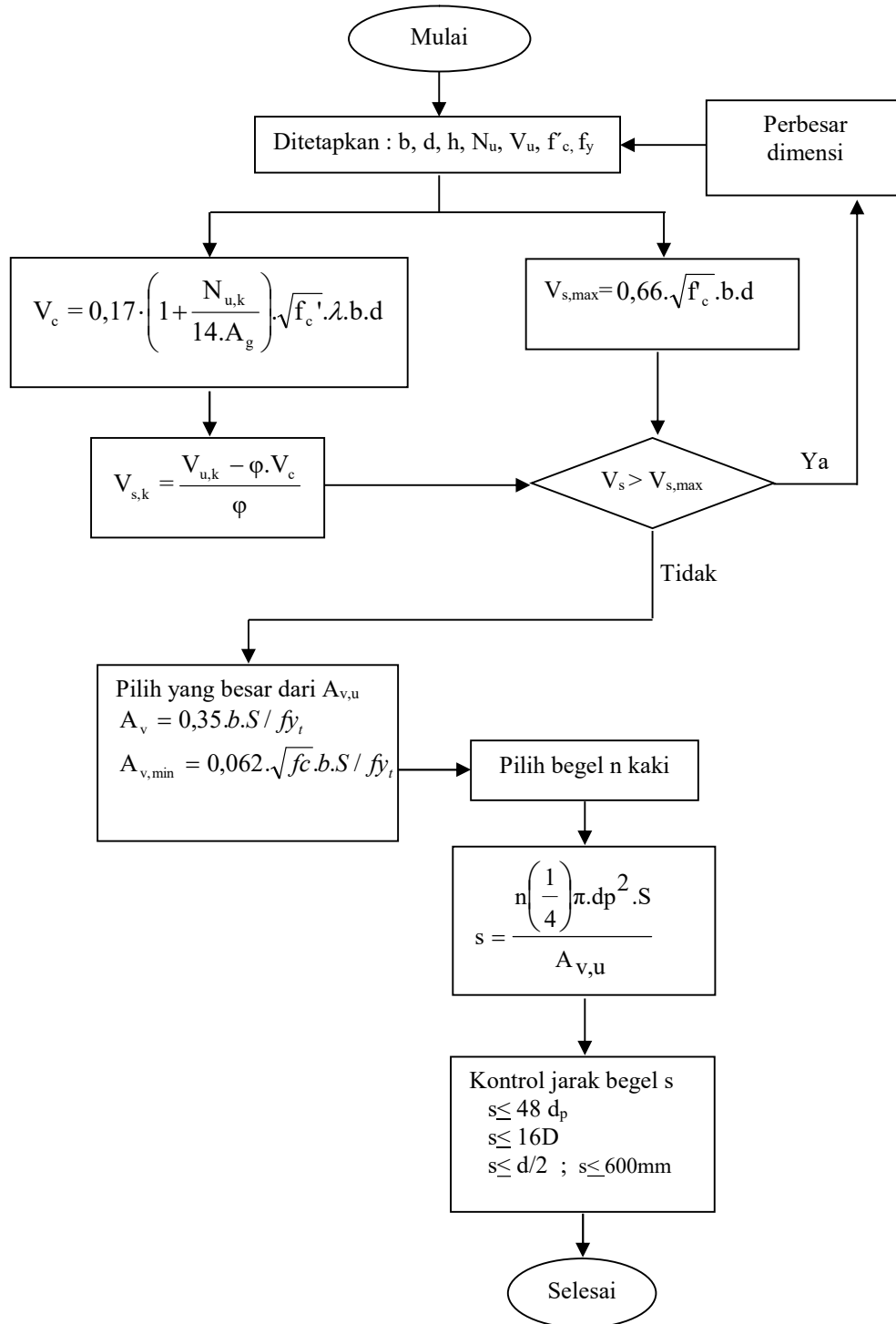
$$M_3 = -\frac{1}{2} \cdot q \cdot a^2, \text{ dengan } a = 0,207 \cdot L \quad (\text{III.14i})$$

Momen tiang pancang ( $M_u$ ) dipilih yang terbesar dari persamaan (III.14d) dan (III.14i) , sedangkan gaya geser ( $V_u$ ) tiang pancang dipilih yang terbesar dari persamaan (III.14e) dan (III.14h).

Skema perhitungan tulangan longitudinal dan tulangan geser tiang pancang disajikan pada Gambar III.22 sampai dengan Gambar III.23.



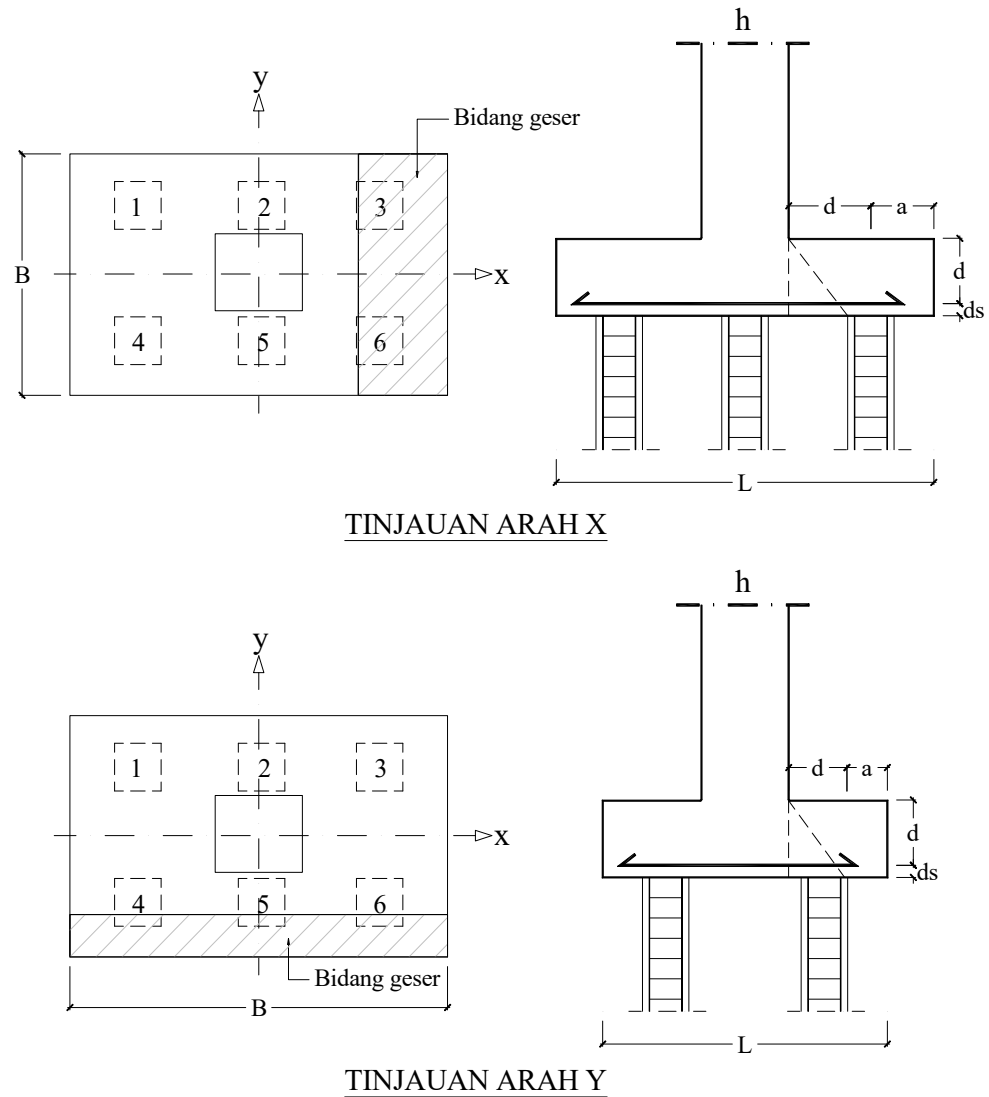
Gambar III.22. Skema perhitungan tulangan longitudinal tiang pancang



Gambar III.23. Skema perhitungan tulangan geser tiang pancang.

### 3. Perencanaan *Poer*

3a). *Tinjauan tegangan geser 1 arah.* Posisi dikontrol terhadap tegangan geser satu arah sehingga pondasi tidak terjadi retak.



Gambar III.24. Tegangan geser 1 arah

Tegangan geser satu arah hanya terjadi pada satu sisi, sehingga diperhitungkan terhadap daya dukung tiang pancang pada satu sisi saja.

Tegangan yang terjadi pada tanah  $V_u$  (nilai terbesar dari jumlah  $P_u$  tiang pada satu sisi, ditinjau arah  $x$  dan arah  $y$ ).

Tinjauan arah  $x$  :



$$V_u = \sum P_{ux} \dots \dots \dots (III.14j)$$

$\sum P_{ux} = \sum P_u$  terbesar antara  $P_{u1}+P_{u4}$  dan  $P_{u3}+P_{u6}$ .

Tinjauan arah y :

$$V_u = \sum P_{uy} \dots \dots \dots (III.14k)$$

$\sum P_{uy} = \sum P_u$  terbesar antara  $P_{u1}+P_{u2}+P_{u3}$  dan  $P_{u4}+P_{u5}+P_{u6}$ .

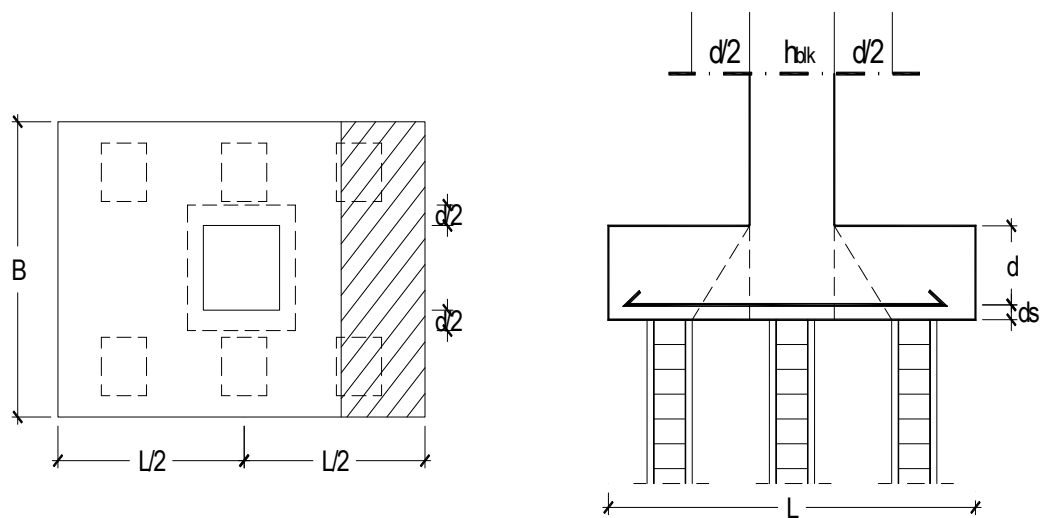
Tegangan geser yang dapat ditahan oleh beton ( $V_c$ ) :

$$V_c = 1/6 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot B \cdot d \dots \dots \dots (III.14l)$$

Kontrol :  $V_u \leq \phi \cdot V_c$ , dengan  $\phi = 0,6$

Jika memenuhi persyaratan tersebut, maka untuk konstruksi *poer* pondasi aman terhadap tegangan satu arah

### 3b). Tinjauan tegangan geser 2 arah.



Gambar III.25. Tegangan geser dua arah

Tegangan yang terjadi pada tanah  $V_u$  (semua  $P_u$  tiang yang terjadi pada dua sisi)

$$V_u = \sum P_u \dots \dots \dots (III.14m)$$

Tegangan geser terkecil yang dapat ditahan poer ( $V_c$ ) dipilih yang kecil :

$$V_c = (2 + 4/\beta_c) \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_o \cdot d \dots \dots \dots (III.14n)$$

$$V_c = \left( 2 + \frac{\alpha_s \cdot d}{b_o} \right) \sqrt{f_c} \cdot \frac{b_o \cdot d}{12} \dots\dots\dots (III.14o)$$

$$V_c = 4 \cdot \sqrt{f_c} \cdot b_o \cdot d \dots\dots\dots (III.14p)$$

Kontrol  $V_u \leq \phi \cdot V_c$ , maka untuk tegangan geser dua arah aman.

dengan :

$\beta_c$  = rasio sisi panjang dan sisi pendek dimensi *poer*

$\beta_c = L/B$

$b_o = h_k + d$

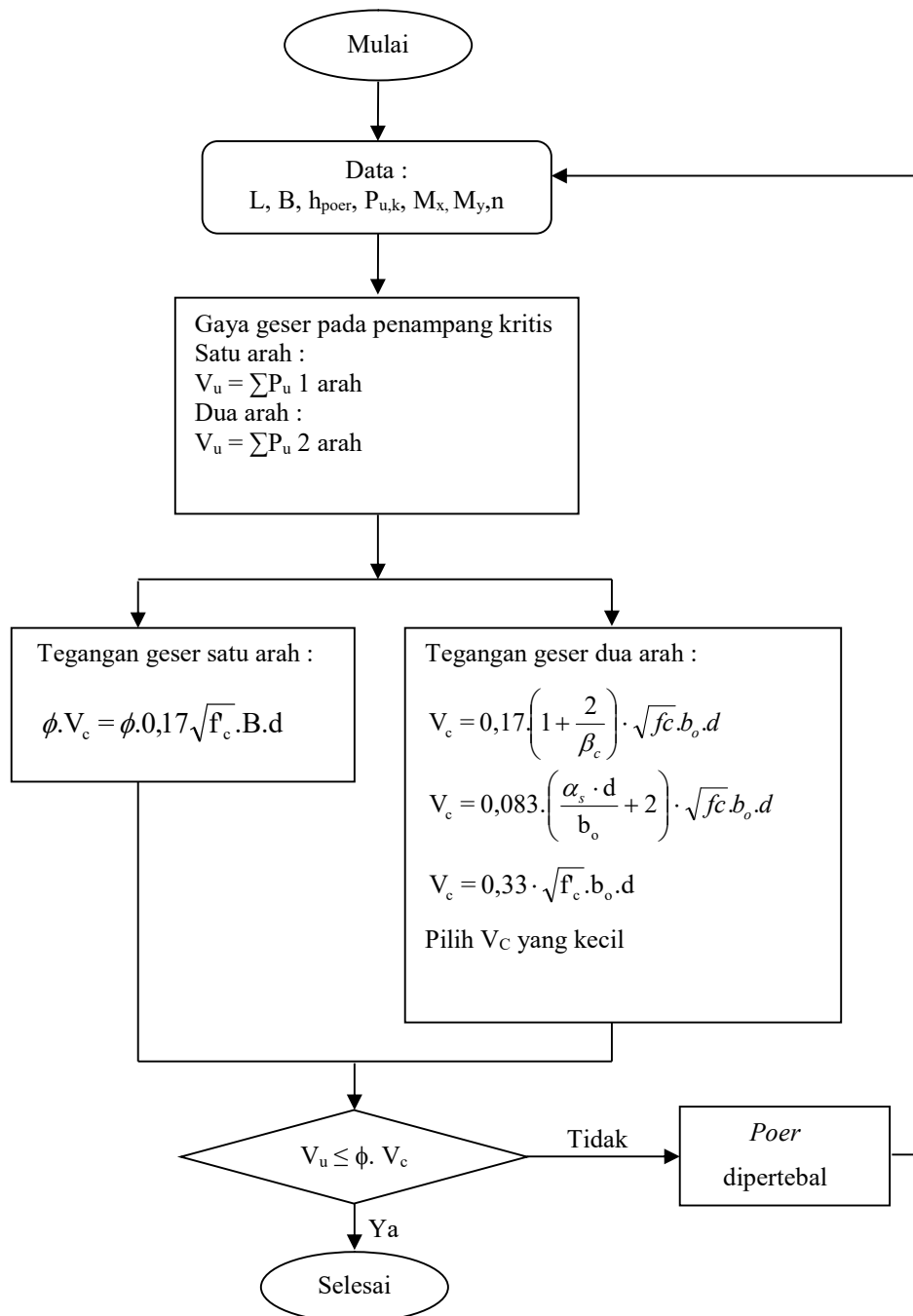
$\alpha_s$  = suatu konstanta yang tergantung pada letak pondasi

= 40 untuk pondasi kolom bagian dalam denah gedung.

= 30 untuk pondasi kolom bagian tepi denah gedung.

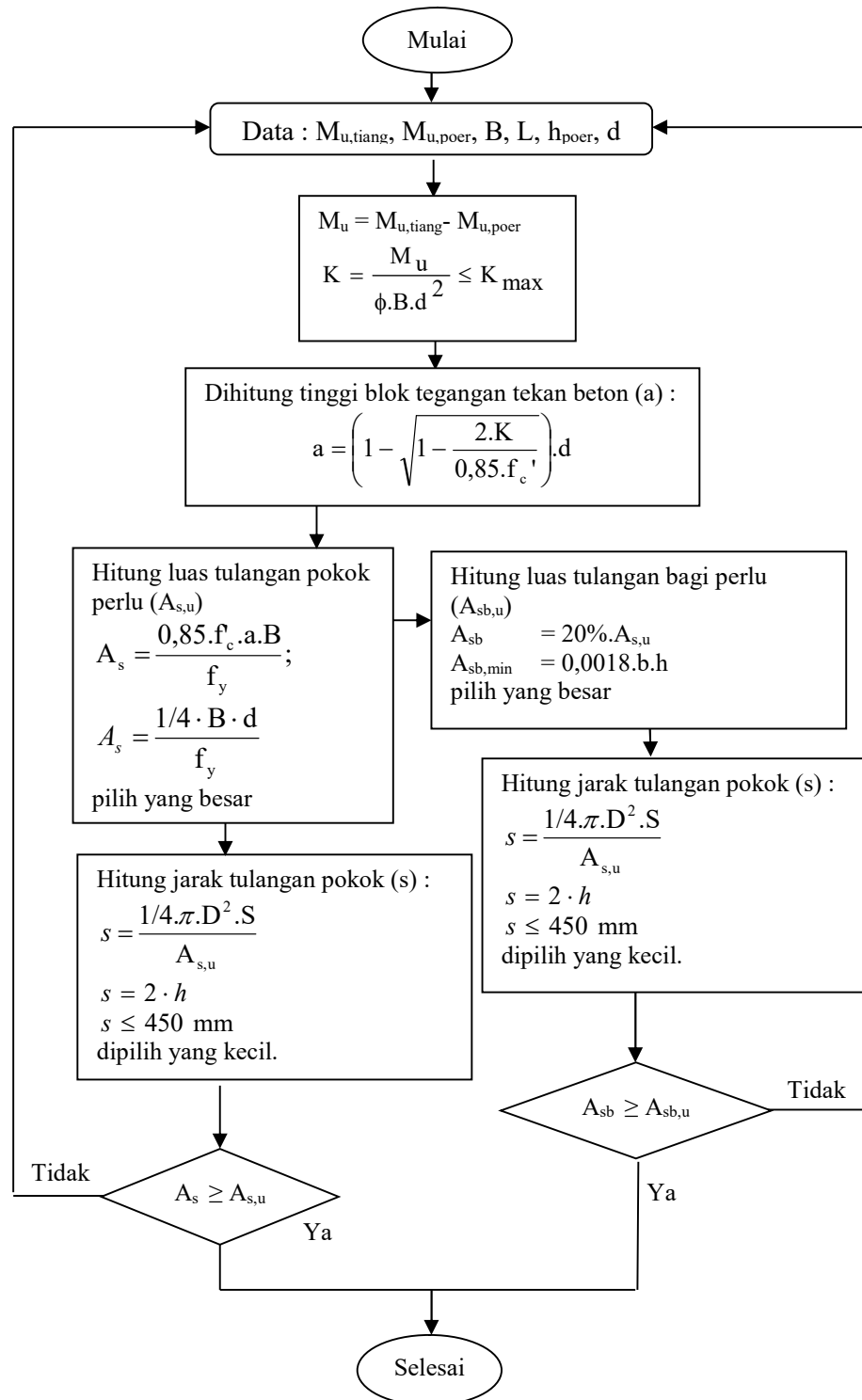
= 20 untuk pondasi kolom bagian sudut denah gedung

Skema perhitungan *poer* disajikan pada Gambar III.26. sampai dengan Gambar III.27.



Gambar III.26. Skema kontrol tegangan geser *poer*.

### 3c). Penulangan poer



Gambar III.27. Skema perhitungan penulangan plat poer.

#### **4. Perencanaan *Sloof***

Pada dasarnya perencanaan *sloof* hampir sama dengan perencanaan balok. Jika pondasi tiang berada pada tanah keras, maka fungsi *sloof* hanya sebagai pengikat antar kolom.